



Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Grado en **Ingeniería Electromecánica**

Trabajo Fin de Grado

*Estudio de un mecanismo de volteo de 180°
con aplicación al prediseño de una mesa de
prefabricado de paneles hormigón de pared
doble*

Miguel Varela Rodríguez

Tutor: Carlos Arellano Vera

Sevilla, 13 Julio de 2020

*“A mis padres, hermana, familia y amigos, gracias
a ellos soy quien soy y a los que siempre les
estaré agradecido. A todos los profesores
que me han acompañado durante esta
etapa. A Don Carlos Arellano Vera, por
guiarme durante el desarrollo de mi TFG.
Y como no, a mis compañeros del grado.
Gracias a todos y cada uno por haberme
acompañado en esta etapa que hoy termina.
Gracias.”*

Resumen

El Trabajo de Fin de Grado trata sobre el estudio de un mecanismo de volteo de 180° con aplicación a una mesa de prefabricado de paneles de hormigón de pared doble.

En él se analiza el estado del arte de este tipo de máquinas y se estudiarán las soluciones adoptadas. A partir de ello se propone un mecanismo de basculación alternativo basado en un único cilindro hidráulico lineal que controla el movimiento completo. Una vez que se analiza la solución propuesta se comparará con las soluciones existentes y se particularizará su uso para la aplicación objeto de estudio.

En él se realiza un prediseño de las estructuras que se necesitan para llevar a cabo el volteo, que incluirá un modelado 3D de las mesas y soportes como la realización de las comprobaciones de resistencia y rigidez que se consideren oportunas a este nivel de prediseño.

Finalmente, se propondrá una estructura de costes aproximada para la fabricación del prediseño realizado.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ESTADO DEL ARTE	2
2.1	Contextualización	2
2.1.1	Prefabricación	2
2.1.2	Prefabricados	4
2.1.3	Ventajas e Inconvenientes de la construcción prefabricada	5
2.1.4	Muros Dobles	6
2.1.5	Mesas Basculantes	11
2.2	Alternativas	11
2.3	Mecanismo propuesto	15
2.4	Comparativa con soluciones existentes	17
3.	MODELADO DE LAS MESAS.....	18
3.1	Modelo 1	18
3.2	Modelo 2	19
3.3	Modelo 3	21
3.4	Modelo 4	25
3.5	Modelo 5	28
3.6	Modelo 6	37
3.7	Seguridad y Salud.....	44
3.7.1	Salud y ergonomía	44
3.7.2	Seguridad	45
4.	MODELADO CINEMÁTICO.....	47
5.	SISTEMA DE ACTUACIÓN.....	50
5.1	Actuadores y tipos.....	50
5.2	Sistema hidráulico.....	53
5.2.1	Cilindros Hidráulicos	53
5.2.2	Válvulas	54
5.2.3	Unidad de potencia hidráulica	55
5.2.4	Sensores.....	56
5.2.5	Esquema Hidráulico	57
5.2.6	Propuesta de esquema eléctrico.....	58
6.	PRODUCCIÓN DE MUROS DOBLES	59

6.1	Ciclo de trabajo tipo	59
6.2	Accesorios necesarios	61
6.2.1	Separadores Magnéticos.....	61
6.2.2	Sistema de Vibración.....	62
7.	PRESUPUESTO PRELIMINAR	64
8.	CONCLUSIONES Y VÍAS FUTURAS.....	65
8.1	Conclusiones	65
8.2	Desarrollos futuros	65
9.	BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA	67
ANEXOS	68
Anexo I:	CÁLCULOS HIDRÁULICOS.....	68
Anexo II:	PRONTUARIO DE PERFILES	71
Anexo III:	CINEMÁTICA	73
PLANOS	75

1. INTRODUCCIÓN

El mundo de la construcción ha pasado por diferentes etapas desde sus orígenes hasta llegar al punto donde se encuentra hoy en día.

Empezando por el Paleolítico donde los materiales eran vegetales, las construcciones no tenían rasgos particulares y se llevaban a cabo tiendas nómadas y mejoras en las cuevas. Con la Revolución Neolítica, en la que la agricultura permite el sedentarismo, da comienzo la construcción con otro tipo de materiales como piedras, maderas, tierras, yeso, cal... La mano de obra se comenzó a organizar en oficios y en gremios, y las técnicas constructivas evolucionaban lentamente, pero ya se iban reflejando características en función de la cultura.

Con la llegada de Revolución Industrial, se dio paso a las máquinas en los procesos. Los materiales con los que se trabajaba eran hierro, acero, cemento, vidrio... Dio comienzo a la producción seriada, la normalización y a implementar controles de calidad. Respecto a la mano de obra, se empezó a diferenciar la fábrica de obra y la mano de obra del taller, apareciendo la labor del montador. En esta etapa ya se empezó a trabajar con los prefabricados y se perfeccionaron los medios auxiliares.

Con el tiempo todo se fue perfeccionando, apareciendo nuevos conceptos de construcción que fusionándose con lo tradicional daban lugar a obras de gran valor. Con el estudio de los materiales y sus características, se empezó a introducir en la construcción los materiales sintéticos y dio comienzo al diseño de materiales en función de la utilidad que fuese a tener, y cada vez era más normal la llegada a la obra de materiales terminados, a los cuales solo le haría falta la etapa de montaje en obra. Por esto, es por lo que la figura del montador comienza a tener mucha importancia, y los oficios tienden a desaparecer. De las técnicas constructivas se podría decir que la automatización comienza a tener su importancia dentro del sector y los medios auxiliares cada vez son más complejos.

El hormigón es un material que con el tiempo se ha ido mejorando tanto como material, como en las técnicas de dosificación, mezcla, colocación, acabado y curado, haciendo todo esto que sea un material fiable.

El hormigón ha ido evolucionando a lo largo de la historia, y en este trabajo se va a desarrollar su utilidad en el mundo de los prefabricados, más concretamente en los muros dobles. Existen prefabricados de hormigón como adoquines o bloques, de configuración simple, y existen los paneles de hormigón utilizados en la construcción.

Los prefabricados en el mundo de la construcción comenzaron a usarse a mediados de los años 50 del siglo XX. Todo comenzó con la idea de poder construir de una manera rápida, reduciendo costes y con mayor eficacia. Y con

el tiempo se comenzaron a desarrollar nuevos conceptos en el mundo de la construcción como el de los muros prefabricados de hormigón, que en un principio fueron usados como elemento del interior de la vivienda, pero poco a poco fue utilizándose para los exteriores de los edificios y naves.

Fue por la década de los 80, cuando ya se empezó a hablar de muro doble o pared semi-prefabricada, también conocida como pared doble, con el objetivo y necesidad de optimizar el proceso de construcción y reducir el trabajo en obra, aumentando la calidad.

La fabricación de muros dobles por lo general implica máquinas voluminosas y con complicados mecanismos de volteo que suelen implicar varios actuadores hidráulicos instalados de forma secuencial para llevar a cabo el volteo de una de las losas sobre la otra. La complejidad y el tamaño de las mesas viene determinado fundamentalmente por el tamaño y peso de los elementos que se fabrican, lo cual supone por lo general importantes cargas que la máquina debe soportar durante el ciclo de funcionamiento. En este trabajo, además de introducir en detalle los muros dobles y su proceso de fabricación, el objetivo principal es el desarrollo de un mecanismo de volteo de 180° con aplicación a una mesa de prefabricado de paneles de hormigón de pared doble que aporte ciertas ventajas, en concreto su simplificación. Por ello se propone un mecanismo de basculación basado en un único cilindro hidráulico lineal que controla el movimiento completo.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Contextualización

2.1.1 Prefabricación

La prefabricación es un sistema de construcción que usa elementos fabricados en planta y de manera repetitiva, y que requieren de un montaje una vez estén en obra. Frente a otros procesos constructivos presenta la ventaja de alcanzar mayores niveles de industrialización.

En la prefabricación tenemos dos etapas:

- Realización del elemento constructivo en fábrica.
- Montaje en obra.

Ya que el elemento constructivo tiene que ser transportado de la fábrica a la obra, sus dimensiones vienen delimitadas por el transporte y por la disponibilidad de los equipos de elevación existentes en la obra. Las fábricas que se dedican al prefabricado de elementos constructivos realizan controles de calidad que garantizan su funcionamiento dentro de la obra.

Según se usen los elementos, tenemos dos tipos de prefabricación:

- Prefabricación ABIERTA: en la que los elementos prefabricados son los más comunes y se combinan unos con otros, pudiendo así ser sustituidos en caso de rotura.



Figura 1: Hotel en Japón de Yasutaka Yoshimura realizado con contenedores.

- Prefabricación CERRADA: en la que los elementos prefabricados tienen unas características determinadas, por lo que su intercambio será limitado, generando conflictos en la fabricación, transporte y montaje.



Figura 2: Casa en Tutukaka / Crosson Clarke Carnachan Architects.

Los elementos prefabricados tienen los siguientes principios básicos:

1. Los elementos tipo tienen que ser reducidos, entendiéndose como elemento tipo las columnas, vigas... Se trata de aquellos elementos que tienen una función dentro de la obra.
2. El número de elementos tipos debe ser reducido y se construyen en serie.
3. Tiene que haber pocas combinaciones entre ellos, para poder aplicar la misma técnica de unión entre los diferentes elementos.
4. Los elementos tienen que estar diseñados para realizar varias funciones.
5. Se buscan métodos de fabricación industrializada que permitan reducir los errores ocasionados por el factor humano.

El peso máximo de los elementos tiene que ser similar para poder usar la misma grúa.

2.1.2 Prefabricados

El mundo de los prefabricados tiene su origen en la posibilidad de hacer una construcción con unos costes reducidos y un tiempo de ejecución más rápido. Esto se llevó a cabo mediante la implementación de procesos en serie que se llevaban a cabo fuera de la obra, a la cual llegaba ya el elemento constructivo prefabricado listo para su montaje.

Según la RAE, prefabricado es *“dicho en la construcción: formado por partes fabricadas previamente para su montaje posterior”*. Es decir, consideramos prefabricado a todo lo que se trabaja previamente en una fábrica o taller, y en la obra se usa para la construcción. Los sistemas constructivos que usan los elementos prefabricados se conocen como construcción prefabricada o por montaje.

Los elementos prefabricados que se van a tratar en este proyecto son los paneles de hormigón, por lo que se explica a continuación todo lo que se tiene que tener en cuenta a la hora de la fabricación de un elemento prefabricado de hormigón.



Figura 3: Paneles De Hormigón Prefabricado Para Casas.

La producción tiene lugar en una fábrica en la que el elemento final es la base para la selección del método de fabricación y de los equipos que se van a emplear. La industrialización es clave porque, como se ha dicho anteriormente, disminuye los errores humanos.

Al principio de la fabricación se tiene que tener en cuenta la preparación de los materiales, es decir, las materias primas (áridos, cemento portland y aditivos) que deben estar bien almacenadas. Una vez que se transportan los materiales a la fábrica, donde se van a fabricar los elementos prefabricados, tiene lugar la preparación de los moldes, las armaduras, la compactación y el fraguado del hormigón, y el desmoldeo de los elementos. Una vez desmoldados, se almacenan con sumo cuidado para que no estén bajo sobrecargas y evitar golpes.

2.1.3 Ventajas e Inconvenientes de la construcción prefabricada

- VENTAJAS

Se encuentran ventajas en la calidad de los materiales, reducción de los plazos de ejecución, reducción de los equipos de obra, dependencia del clima y en la economía.

- *Calidad:* la industrialización en la fabricación de prefabricados nos permite obtener una buena calidad con constantes controles, y precisión geométrica que garantice el encaje, de unos elementos con otros, con exactitud.
- *Reducción de plazos de ejecución:* este tipo de construcción nos permite eliminar todos los tiempos vacíos entre los procesos de una obra, quedándose el tiempo de la obra a lo que dure el proceso de cimentación y montaje de los elementos prefabricados.
- *Reducción de equipos de obra:* ya no serían necesarios los encofrados y los andamios.
- *Dependencia del clima:* estas construcciones no dependen del clima ya que su montaje se puede llevar a cabo incluso en invierno.
- *Economía:* al reducirse los tiempos de ejecución también se reducen los gastos fijos.
- *Seguridad:* el uso de elementos prefabricados reduce la necesidad de realizar trabajos en altura y la exposición de los operarios a los riesgos asociados a los procesos de construcción tradicionales

- INCONVENIENTES

Y como no, los prefabricados tienen inconvenientes en la manipulación y transporte, peso, en aspectos económicos-financieros, en el montaje y en la fabricación.

- *Manipulación y transporte:* el almacenamiento y transporte puede afectar a los elementos prefabricados, que incluso sufren estados de carga transitorios en su transporte y colocación, que pueden afectar a la resistencia estructural del elemento. Y, sobre todo, tienen que respetar los gálibos de transporte en las carreteras, siendo el transporte un limitante para el dimensionado de los elementos.
- *Peso:* está muy relacionado con el transporte, ya que el peso también se convierte en un limitante, ya sea para los vehículos como para la maquinaria usada en obra, principalmente grúas.
- *Aspectos económicos-financieros:* este tipo de construcción requiere de una gran inversión inicial para la puesta en marcha de la

producción, pero se amortiza en grandes obras con plazos de ejecución reducidos.

- *Montaje:* se debe disponer de espacio suficiente para maniobrar con una grúa para el montaje de los elementos.
- *Fabricación:* requiere de la coordinación de tareas para poder evitar trabajos posteriores. Un error al principio puede llevar al fracaso a la obra (uniones, tiempos, costes...).

2.1.4 Muros Dobles

Dentro de la amplia gama de productos prefabricados de hormigón que podemos encontrar en el mercado, en este trabajo se estudia el muro doble y su proceso de producción. Se trata de un elemento constructivo prefabricado que está compuesto por dos losas de hormigón armado de unos 50-70 mm de espesor unidas por una celosía de acero. Es un elemento óptimo en toda obra en la que se utilicen paredes de hormigón armado. En el hueco que queda entre las dos losas, una vez se coloque en obra, se pone una armadura y se rellena de hormigón. Es por esto último por lo que es considerado el muro doble un elemento semi acabado, ya que tiene dos partes de ejecución: fábrica y obra.

Los muros pueden ser de distintas dimensiones. El espesor de los muros puede ir desde 200 mm a 400 mm, y pueden llegar a tener unos 7000 mm de altura. Los muros dobles se diseñan según quiera el cliente, es decir, según el tipo de proyecto, las dimensiones, la armadura de refuerzo, la fabricación y la instalación pueden variar.



Figura 4: Muro doble.

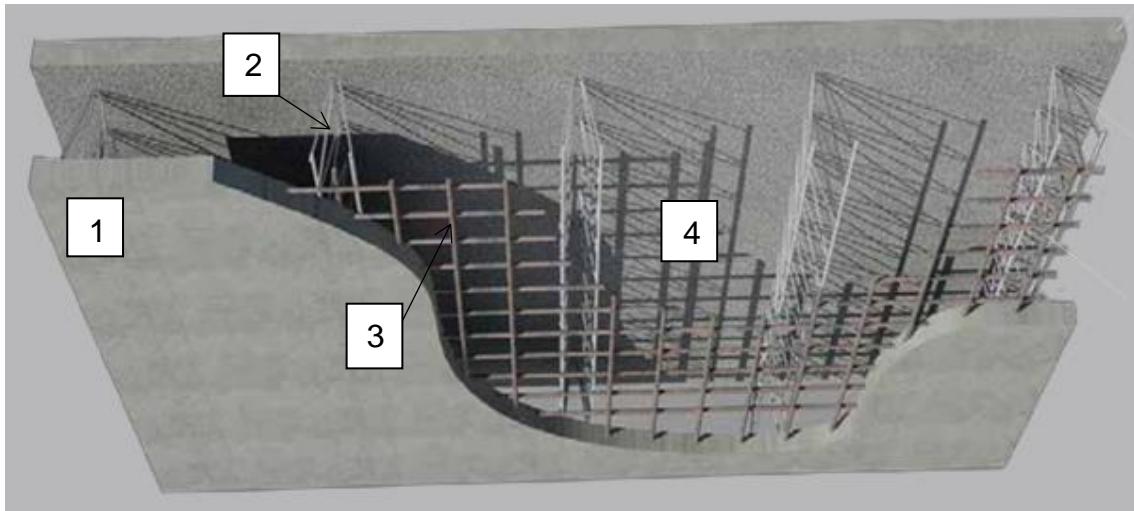


Figura 5: Configuración de un muro doble. 1- Losa; 2- Vigas de celosía; 3- Armadura de las losas; 4- Hueco para la armadura del muro doble y el relleno de hormigón.

Los muros dobles parten de la fabricación de las losas de hormigón armado, las cuales pueden llevar incorporadas una armadura longitudinal y transversal en función de los cálculos realizados. Estas losas pueden ir conectadas entre sí por unas vigas de celosía que determinan el hueco entre las losas, dan estabilidad durante el montaje y resistencia hidrostática a la hora de rellenar el hueco con hormigón. Y como bien se ha dicho antes, en el hueco se coloca una armadura.

En la figura 4 se puede observar las vigas de celosía que conectan una losa con otra. Y en la figura 5, se observa la configuración completa de un muro doble listo para ser transportado a la obra, con sus vigas de celosía para conectar las losas, la armadura de las losas y el hueco donde va la armadura del muro doble y se rellena de hormigón, teniendo en cuenta que esta etapa se realiza en fases de 1000 a 1200 mm de altura, vibrando el hormigón en cada fase para así eliminar el aire que queda atrapado en la masa de hormigón.

En estos muros se pueden realizar huecos para puertas o ventanas, también pueden tener un acabado determinado y se pueden dejar previstos pasos para posteriores instalaciones de tuberías o cableado.

El muro doble tiene las siguientes aplicaciones:

- Estructura de edificios residenciales, comerciales e industriales.
- Muro de contención para piscinas, garajes, sótanos y túneles.
- Muro de contención en voladizo.

Las ventajas de este tipo de elemento de construcción son las siguientes:

- La excavación es mínima, especialmente si se utiliza como muro de contención.
- Se reducen los riesgos del personal, ya que los muros se colocan en la obra mediante una grúa.
- Se reducen los plazos de entrega y el tiempo de ejecución.

- Mayor seguridad en el trabajo, debido a que el trabajo del personal de la obra consiste en operaciones sencillas.
- La construcción es más segura, ya que las actividades de construcción se realizan dentro y fuera de la obra.
- Son adecuados para construcciones en las que la estanqueidad es esencial, llegando a soportar una presión hidráulica de hasta 0,2 MPa.
- Al no necesitarse panales ni tableros, la inversión de la empresa es menor.
- Se adaptan a cualquier diseño arquitectónico.
- Debido a que pueden llegar a ser de hasta 7000 mm de altura, se evita el montaje de sobre andamios.
- Fabricación eficiente ya que la producción es rápida, se maneja menos material y su construcción es asequible.
- Instalación eficiente debido al tamaño de los paneles, método de unión y la eliminación de las etapas de soldadura y encofrado.
- Acabado liso sin coqueras.
- Si se utilizan en medianeras o aceras, la cara trasdós se rellena de grava u hormigón pobre, y así se ahorra en los encofrados a una cara y en hormigón.
- Barrera de seguridad frente al fuego y al sonido.

Una variante del muro doble consiste en intercalar una capa de aislamiento térmico en el espacio resultante entre las dos placas de hormigón. Este tipo de paneles son especialmente útiles en ambientes extremos donde el aislamiento térmico es fundamental para reducir los costes de climatización.

Frente a otros paneles prefabricados más habituales, el muro doble presenta una serie de dificultades que impiden su fabricación en equipamiento habitual como son las mesas basculantes simples.

2.1.4.1 Proceso de fabricación de muros dobles

El proceso de fabricación de los muros dobles se puede separar en las siguientes etapas:

- Preparación de las mesas.
- Vertido de hormigón en las mesas.
- Fraguado.
- Colocación de armadura.
- Curado.
- Volteo.
- Desmoldeo.

- Almacenamiento.
- Manipulación.

A continuación, se explican cada una de las etapas:

- *Preparación de las mesas.*

A las mesas donde se construyen las losas de hormigón que forman el muro doble se limpian y se les aplica un desencofrante para facilitar la extracción de las mismas. Dichos moldes son rígidos, de un material cuya adherencia con el hormigón sea mínima, de fácil limpieza y reutilizables.

En el caso tratado en este trabajo se recurre al acero, pues presenta baja adherencia siempre que su acabado sea bueno a la vez que tienen unas propiedades mecánicas que aseguran la durabilidad de la máquina. Recordemos que se trata de un equipo cuya adquisición supone una inversión considerable para el prefabricador y del que se espera que tenga una larga vida útil.

Una vez que ya se tienen preparadas ambas mesas, se pasa a la colocación de las armaduras de las losas, en el caso de que la tuviera, con exactitud, asegurando de que no se van a mover durante el vertido del hormigón.

- *Vertido de hormigón en las mesas.*

Preparadas las mesas se pasa al vertido del hormigón, el cual se hará vibrar mediante unos dispositivos para asegurar la compactación, eliminando así la posible aparición de coqueas. El hormigón debe ser vertido de manera uniforme para conseguir un hormigón homogéneo.

El equipo para el vertido del hormigón queda fuera del alcance de este proyecto, donde se asumirá que el usuario dispone de los medios necesarios para depositar el hormigón sobre la superficie de las mesas.

En cuanto a la vibración, si bien representa una parte fundamental del funcionamiento de la mesa para garantizar una correcta compactación del hormigón, queda fuera del alcance del presente trabajo el estudio dinámico del comportamiento de la estructura de la mesa cargada con la losa de hormigón para determinar la localización óptima de los vibradores. En el capítulo referente a accesorios necesarios en la producción de muros dobles se hará hincapié en la necesidad de incorporarlos y se darán algunas directrices para su colocación. Alternativamente podría recurrirse a un sistema de vibración externo del tipo de un vibrador de aguja, aunque dicha solución no se considera la más eficiente dentro del contexto del presente desarrollo puesto que se busca desarrollar un equipo que permita la industrialización del proceso tanto como sea posible.

- *Fraguado.*

En esta etapa se tiene que esperar a que el hormigón esté lo suficientemente endurecido como para que pueda realizarse el volteo de la mesa móvil.

- *Colocación de armadura.*

Se colocan las vigas de celosía, que se encuentran en el hueco del muro doble, encima de la mesa con exactitud y asegurando que no se muevan durante el desencofrado del muro, almacenamiento, manipulación y vertido de hormigón una vez instalado en la obra. En esta etapa se preverá de elementos de izados para su futuro desmoldeo y manipulación, se instalarán entre 2 y 4 elementos de izado.

- *Curado.*

Es un proceso en el que hay que conseguir que el hormigón tenga unas condiciones óptimas de humedad y temperatura para conseguir el grado de hidratación que le hace desarrollar de manera eficiente sus propiedades.

Cabe la posibilidad de incorporar bajo la superficie de la mesa unas tuberías para la conducción de agua caliente para favorecer el curado del hormigón, esta solución podría resultar útil en entornos donde la temperatura de trabajo sea relativamente baja.

- *Volteo.*

Fase en la que por medio de un mecanismo o máquina se realiza el giro de 180° quedando la mesa móvil encima de las vigas de celosía que están encima de la mesa fija. Es en esta parte del proceso donde hace énfasis el presente trabajo mediante el desarrollo de un mecanismo de volteo más simple que los existentes en el mercado. Esto aportaría innumerables ventajas tanto a un posible fabricante de maquinaria como a un usuario de la misma, ya que a mayor simplificación del producto son de esperar menores costes de adquisición y de mantenimiento.

- *Desmoldeo.*

Se lleva a cabo con la ayuda de un puente grúa y eslingas de cable de acero.

- *Almacenamiento.*

Nunca deben ser colocados por ninguna de las caras para evitar deformaciones en las caras vistas, se deben colocar de pie o de canto.

2.1.5 Mesas Basculantes

Las mesas basculantes permiten la producción de paneles prefabricados de hormigón facilitando su extracción de los moldes a partir de un mecanismo de basculación, que se lleva a cabo con actuadores lineales telescópicos. Siendo los paneles de las dimensiones requeridas por el cliente.

El mecanismo de basculación dependerá del tamaño y carga de la mesa, disponiendo de tantos actuadores lineales telescópicos con sus respectivas capacidades de carga como sean necesarios para realizar la basculación.

Las mesas contienen una o más bandas laterales que pueden ser fijas, abatibles (de accionamiento hidráulico o mecánico) o regulables, en función del tipo de panel que se vaya a ejecutar. Estas bandas laterales se complementan con unos separadores magnéticos que se usan para la realización de puertas y ventanas en los paneles.

Estas mesas llevan incorporado un sistema de vibración, compuesto por vibradores y circuito de alimentación, para la compactación del hormigón. Y de manera opcional, las mesas pueden llevar incorporado un sistema de calefacción con el que se aumenta la productividad, ya que el curado del hormigón es acelerado mediante un sistema de tuberías por las que se hace circular vapor o agua caliente.

Las mesas basculantes colocan el panel con un cierto ángulo de inclinación, ayudando de esta manera a levantarlo sin producirle daños en los cantos.

2.2 Alternativas

El objetivo de este proyecto, es el estudio y diseño de un volteador de 180°. Un volteador no es más que un dispositivo, cuya función es girar un elemento un cierto ángulo. A continuación, se estudiarán algunos tipos de volteadores existentes en el mercado.

- *Volteador de cajas de plástico de 180°*

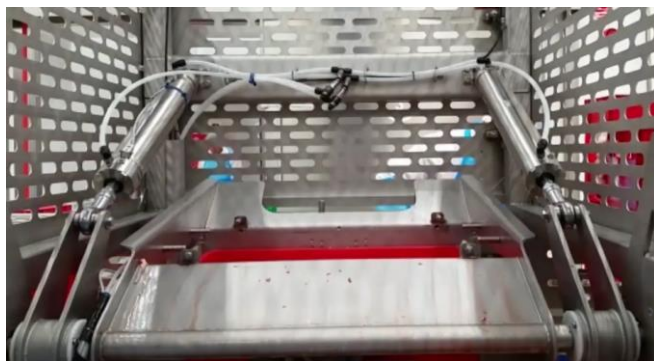


Figura 6: Volteador de cajas de plástico ("VERSERKAL")

Consta de un sistema neumático formado por dos actuadores y dos mecanismos unidos entre sí por un eje, y una superficie que sujeta a las cajas para realizarle el giro de 180°. El problema que presenta este volteador es la necesidad de otras superficies para el volteo de cajas si estas se sustituyeran por otro elemento de mayor o menor tamaño. Si el cambio fuese por cajas de menor tamaño, al sistema neumático no habría que hacerle cambios, excepto un cambio en la fuerza a aplicar. Si, por el contrario, las cajas fuesen de mayor tamaño, con un cambio de potencia en el sistema neumático quizás no bastaría, ya que, si las cajas aumentan su tamaño, aumentan su peso, cabiendo la posibilidad de tener que realizar un cambio de sistema neumático a hidráulico, ya que éste último aplica más potencia.

- *Volteador de marcos de 180°*



Figura 7: Volteador de marcos de 180° ("MOLDTECH")

Este volteador realiza giros de 180° a elementos 3D prefabricados de hormigón, quedando el elemento la posición adecuada para su instalación en la obra. Consta de cuatro actuadores hidráulicos telescópicos, que trabajan simultáneamente dos a dos. Y puede llegar a voltear elementos de hasta 40 t.

Este tipo de volteador es útil para estructuras grandes y pesadas, de ahí que tengan 4 actuadores.

- *Volteador de palés/ contenedores de basura/ bidones/ cajas*

Este volteador tiene la particularidad de que se tiene que usar una fenwick para poder realizar su función, es decir, es un accesorio para realizar el volteo.



Figura 8: Volteador de cajas con una fenwick ("BOLZONI AURAMO")

Como se puede observar en la figura 8, este accesorio tiene la capacidad de realizar giros de hasta 360°. Y tiene distintos tipos de pinzas según el elemento que se vaya a voltear. Existen las que aparecen en la figura 8, que son útiles para cajas, contenedores y palés, y también existen las pinzas para el volteo de bidones (figura 9).

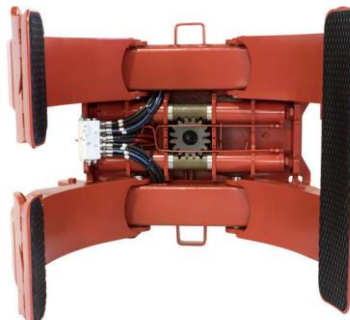


Figura 9: Pinza para el volteo de bidones

- *Volteador de 90°*



Figura 10: Volteador de 90° ("OX WORLDWIDE")

Este tipo de volteador consta de un sistema hidráulico con dos actuadores y dos mecanismos para realizar el giro de 90°, con una plataforma donde apoya por dos caras la pieza a girar, que puede ser de cualquier tipo.

Y, por último, existen en el mercado dos grandes maquinarias para el volteo de 180°, una es de la empresa "VOLLERT" y la otra de "WECKENMANN".

- “VOLLERT”:

Es una empresa multinacional que se dedica en gran parte a la construcción. Se puede relacionar este proyecto con algunas de las actividades que realiza esta empresa, ya que posee una producción en serie de muros dobles en la que tienen una máquina que voltea una de las losas del muro doble, la que contiene las vigas de celosía, y una vez la ha girado 180°, la coloca encima de la otra losa, teniendo así el muro doble.



Figura 11: Maquinaria de volteo 180° con desplazamiento de una de las losas del muro doble. Se puede observar el giro de la losa con vigas de celosía.

- “WECKENMANN”:

Es una empresa que se dedica exclusivamente a la construcción, y que al igual que “Vollert”, también se relaciona con nuestro proyecto por el hecho de realizar muros dobles de prefabricados de hormigón.

Esta empresa también tiene una producción en serie de muros dobles en la que su máquina de volteo es muy compleja, igual que la anterior, y se muestra a continuación:



Figura 12: Maquinaria de volteo 180° con desplazamiento de una de las losas del muro doble.

2.3 Mecanismo propuesto

El mecanismo que se propone en este proyecto para llevar a cabo el volteo de 180° se puede observar en la figura 13, en la que se aprecian las dos mesas, a la derecha de la figura la mesa fija, y a la izquierda la mesa móvil, y las diferentes partes que forman el mecanismo:

- Cilindro hidráulico lineal: acoplado a la mesa fija, dicho acople será la cota cero de aquí en adelante, y se le denomina punto "0".
- Elemento mecánico en forma de "L": que tiene tres puntos de interés. El primero de ellos es el punto de acople con el cilindro hidráulico, que se denomina "1B"; el segundo de ellos es el de fijación a la mesa fija y se le denomina 1; y el tercero de ellos es el acople con la otra parte del mecanismo y se le denomina 1B.
- Elemento mecánico que transmite la fuerza del cilindro a la mesa móvil para que ésta realice el volteo. Tiene dos puntos de interés, y son el punto 1B que lo comparte con el elemento en forma de "L"; y el punto 2 que es un punto fijo dentro de la mesa móvil.
- Separadores: que ayudan al mecanismo a realizar el volteo de la mesa móvil.

En la figura 13 se pueden apreciar los puntos que se acaban de explicar para que queden más claros.

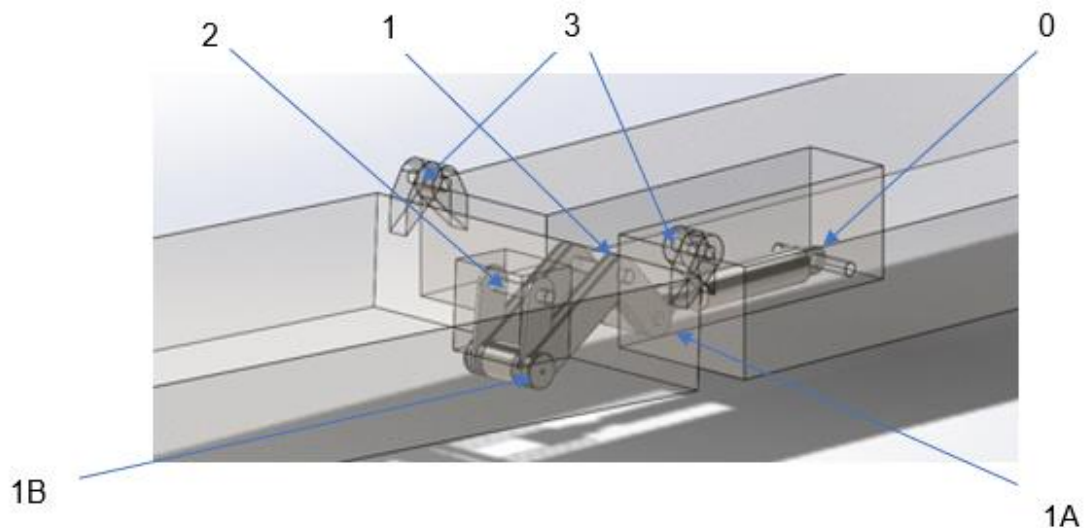


Figura 13: Mecanismo propuesto

En la figura 14 se puede apreciar el volteo de la mesa móvil completo a falta de un pequeño giro. Si la comparamos con la figura 13 se intuye el movimiento de todos los puntos móviles del mecanismo, como son 1A, 1B y 2.

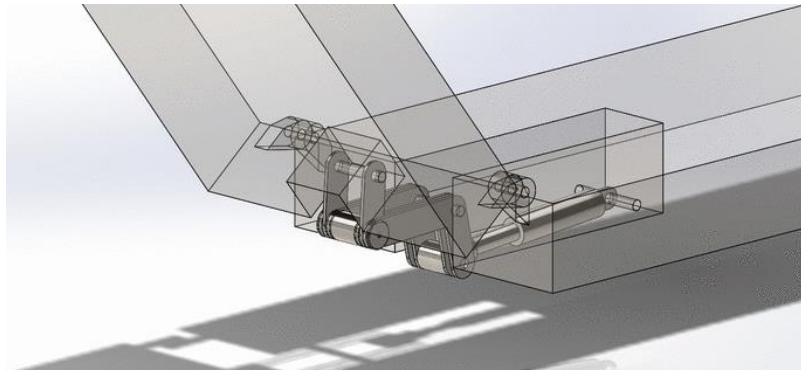


Figura 14: Mecanismo propuesto (Giro)

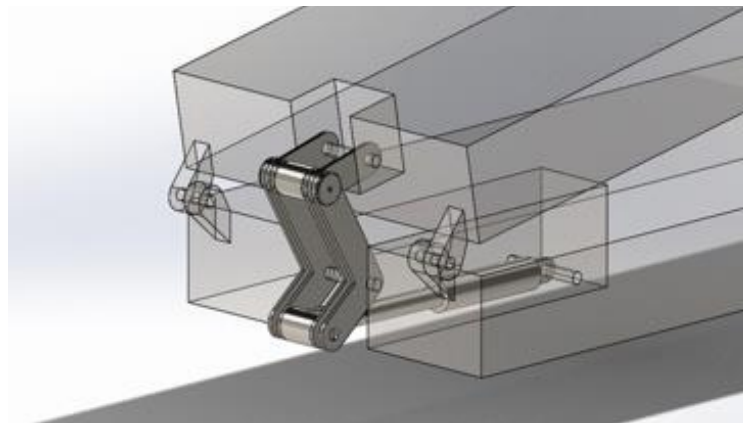


Figura 14.1: Mecanismo propuesto (Giro)

Aunque los puntos importantes ya han sido explicados, en el apartado de modelado cinemático se explican más detenidamente junto a las longitudes de las diferentes partes del mecanismo.

Las ventajas que presenta este mecanismo son:

- El uso de un solo cilindro hidráulico lineal para realizar el volteo.
- La facilidad del mecanismo.
- Menores costes de adquisición y mantenimiento.
- Simplificación de la instalación hidráulica frente a otras soluciones existentes en las que al utilizarse múltiples cilindros para conseguir el volteo es necesario establecer cierta sincronización o secuenciación entre ellos a la hora de realizar el movimiento.

Los inconvenientes que pueden llegar a presentar son:

- El mecanismo es bastante más complejo, incorpora más elementos.
- Los esfuerzos que pueden aparecer en la zona de la mesa móvil más cercanos al eje de giro pueden ser importantes y requieren un análisis detallado para reforzar la zona adecuadamente.
- El cilindro hidráulico debe elegirse teniendo en cuenta la carga máxima a aplicar y el recorrido necesario para poder actuar el mecanismo en todo su rango.

- Resta por analizar la idoneidad de utilizar múltiples cilindros de menor tamaño repartidos a lo largo de la mesa o un menor número de cilindros de mayor capacidad. En dicho análisis tendrán que tenerse en cuenta factores económicos y tecnológicos, siendo necesario evaluar por un lado el coste de adquisición de los propios cilindros, el coste adicional que supone para la instalación hidráulica aumentar el número de cilindros y por otro la ventaja que puede suponer en términos de fiabilidad disponer de más cilindros.

2.4 Comparativa con soluciones existentes

Como es normal, en el mercado ya existen soluciones al problema tratado en este proyecto. En la figura 15 se observa un mecanismo alternativo al que en este proyecto se plantea. El mecanismo alternativo está formado con dos cilindros hidráulicos sincronizados y enlazados entre sí por unos elementos mecánicos que ayudan a realizar el volteo de 180° junto a unos elementos que se disponen a lo largo de las mesas y sirven de separadores entre ellas.



Figura 15: Mecanismo alternativo

En este mecanismo los dos cilindros actúan de forma secuencial, siendo necesaria la extensión completa de ambos para conseguir el volteo completo de la mesa móvil. En general, en este tipo de máquinas la extensión del primer cilindro se realiza por completo hasta que se alcanza una posición intermedia del volteo en la que se actúa un sensor de posición, en ese momento el sistema pasa a alimentar el segundo cilindro hasta que se consigue la extensión completa y el volteo de la mesa.



Figura 16: Disposición de cilindros en mecanismo alternativo.

3. MODELADO DE LAS MESAS

Para el diseño de las mesas se ha realizado un estudio para conocer las dimensiones típicas de los muros dobles, y en función de dichas dimensiones se proponen unas medidas para las mesas.

Otras restricciones consideradas a la hora de realizar el diseño han sido:

- Espacio ocupado por el cilindro hidráulico: considerando sus dimensiones tanto en su posición retraído como en la de máxima expansión además del movimiento que tienen durante el proceso de volteo.
- Otros elementos del mecanismo: los diferentes componentes que forman parte del mecanismo deben colocarse manteniendo una serie de relaciones geométricas para garantizar el correcto funcionamiento del mismo.
- Separadores horizontales para permitir producir varios muros en una misma mesa.
- Sujeciones de los muros durante el volteo.

Como cualquier proceso de diseño este ha estado sometido a continuos cambios y evoluciones. El objetivo de los siguientes apartados es mostrar brevemente los diferentes estados analizados y las diferentes soluciones propuestas para las mesas, fija y móvil, hasta llegar a la mesa completa final.

3.1 Modelo 1

Como bien se ha comentado anteriormente, el diseño de las mesas debe incluir unas zonas donde van situadas las diferentes partes del mecanismo, el cilindro y los separadores. En este primer modelo de mesas las mesas tienen unas dimensiones de 3950 x 1100 x 85 mm, con su espacio habilitado para llevar a cabo la fabricación de las losas del muro doble, con dimensiones de 3000 x 1000 x 60 mm. En la mesa fija se habilitó una zona para el cilindro (parte izquierda de

la figura 17), y en la mesa móvil, en la parte inferior se dejó un hueco de 200 x 250 x 60 mm (parte izquierda de la figura 18) para conectar el mecanismo.

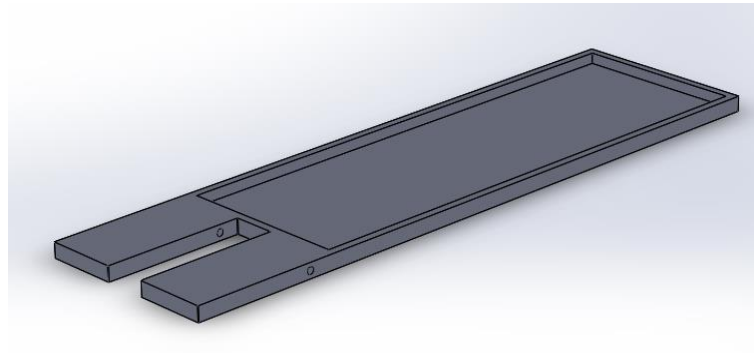


Figura 17: Modelo 1 Mesa Móvil

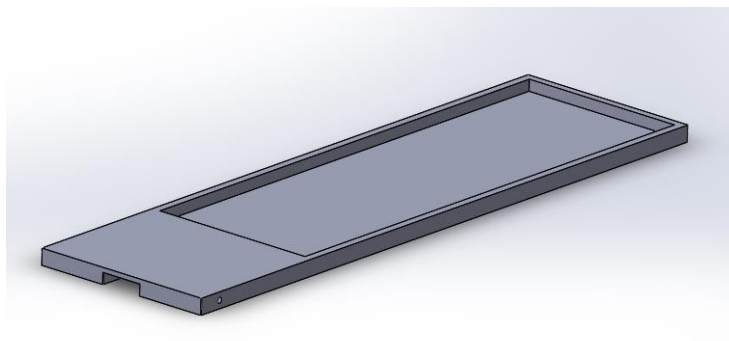


Figura 18: Modelo 1 Mesa Fija

Los agujeros que se aprecian en ambas mesas en donde van colocados los ejes del mecanismo, dichos agujeros se hacen pasantes a lo largo de toda la mesa para la colocación de los ejes.

Si bien este primer modelo era compatible con las restricciones anteriormente expuestas, fue rechazado porque ambas mesas se habían concebido como un elemento mecanizado, lo que hacía inviable su fabricación por factores tanto tecnológicos (tamaño de la pieza) como económicos (coste desproporcionado).

3.2 Modelo 2

A este segundo modelo de mesas se le reduce el espesor del material que se van a fabricar haciendo la mesa de chapas de acero de 10 mm, por lo que se reduce considerablemente el peso de las mesas y su tamaño, siendo estas de 3910 x 1020 x 85 mm, y manteniéndose las dimensiones de la losa (3000 x 1000 x 60 mm).

Al llevar a cabo esta modificación, se reduce el material necesario para llevar a cabo la fabricación de las mesas y por tanto se reduce el peso, como se ha comentado anteriormente, como el coste de la mesa.

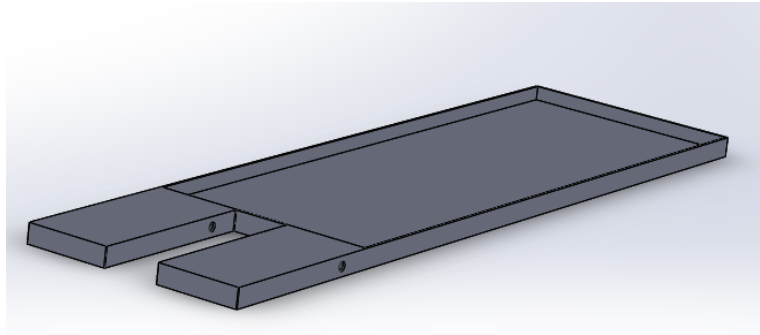


Figura 19: Modelo 2 Mesa fija (parte superior)

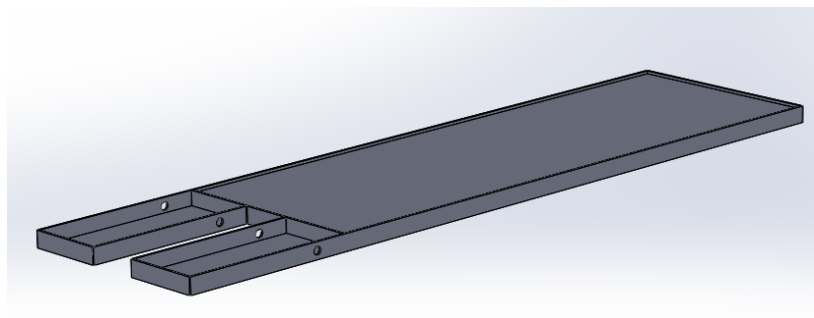


Figura 20: Modelo 2 Mesa Fija (parte inferior)

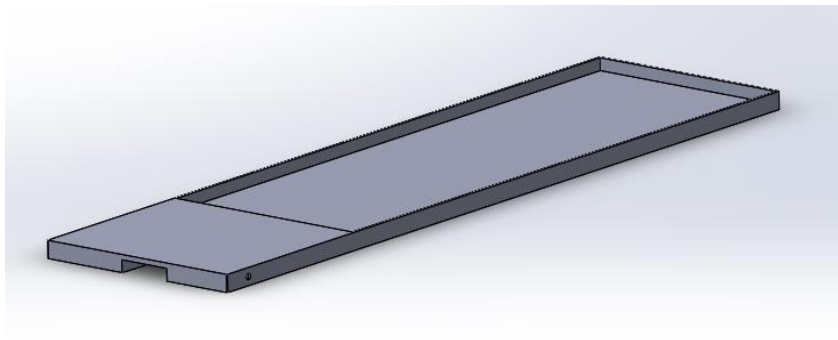


Figura 21: Modelo 2 Mesa Móvil (parte superior)

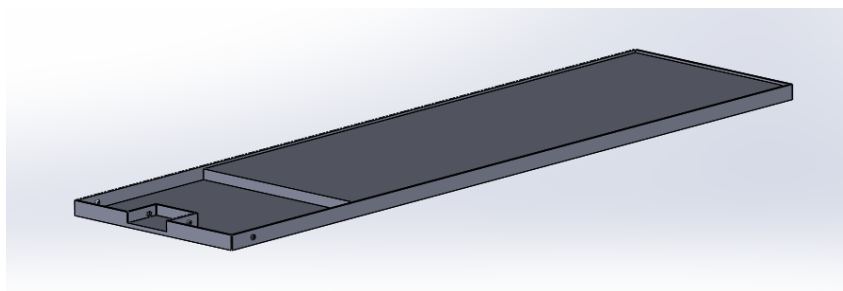


Figura 22: Modelo 2 Mesa Móvil (parte inferior)

En las figuras anteriores (19, 20, 21 y 22) se pueden observar los cambios que han sufrido las mesas respecto al anterior modelo, las chapas acero de 10 mm de espesor. También se aprecian los agujeros pasantes por toda la mesa, y se siguen haciendo pasantes por el mismo motivo que en el anterior modelo, la colocación de los ejes.

Pero finalmente este modelo de mesa también fue rechazado porque existen zonas que están desaprovechadas, como son las zonas de la izquierda de las figuras 19, 20, 21 y 22, que hacen que las mesas tengan una gran longitud (3910 mm).

La fabricación de este modelo de mesa no es viable debido al motivo por el cual se está rechazando la mesa, la zona desaprovechada de la izquierda de las mesas. A parte de esto, su fabricación se llevaría a cabo mediante chapas de acero soldadas entre sí.

3.3 Modelo 3

La solución que se tomó para afrontar el problema del modelo 2 fue la de aumentar el ancho de las mesas a 150 mm y así tener espacio suficiente tanto para el cilindro y la losa en la mesa fija, como para el mecanismo y la losa en la mesa móvil. Con este cambio se consiguió que la mesa disminuyera su longitud, quedando las dimensiones de las mesas en 3220 x 1020 x 150 mm, y el espesor de las chapas de acero se mantiene en 10 mm.

Los huecos que había en los modelos 1 y 2, en este modelo se ha optado por colocarlos en la parte inferior, y así quedar la parte superior exclusivamente para la losa. A la mesa fija se le sigue quedando un hueco, como se puede observar en la figura 23, debido al movimiento del mecanismo.

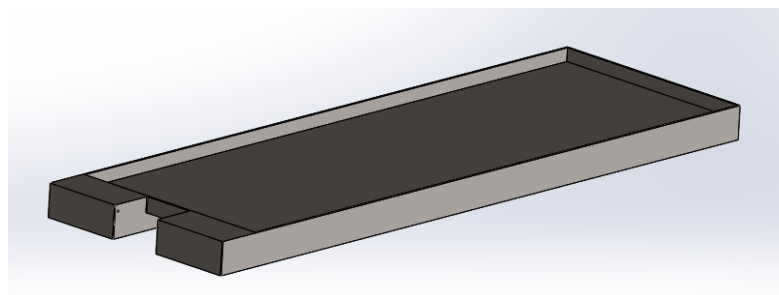


Figura 23: Modelo 3 Mesa Fija (parte superior)

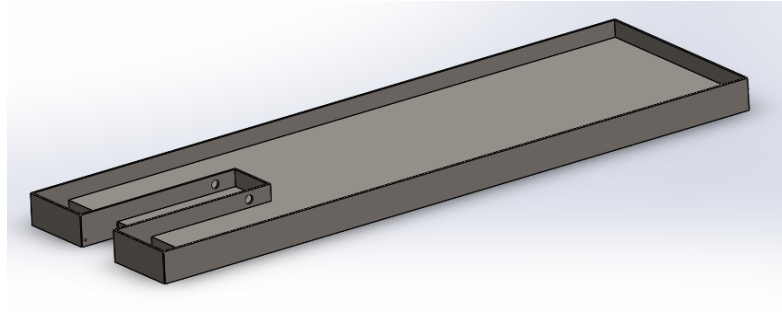


Figura 24: Modelo 3 Mesa Fija (parte inferior) (1)

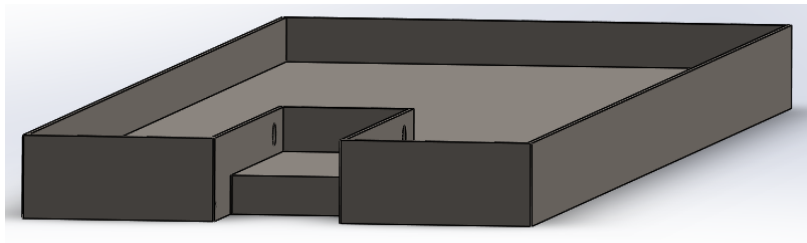


Figura 25: Mesa fija (parte inferior) (2)

En la figura 25 se puede apreciar mejor como quedaría el hueco de la mesa fija, donde se observa, en la parte inferior del hueco, la zona donde se lleva a cabo la fabricación de la losa, y en la parte superior del hueco al fondo se observa el agujero pasante donde se coloca el eje al que iría anclado el cilindro.

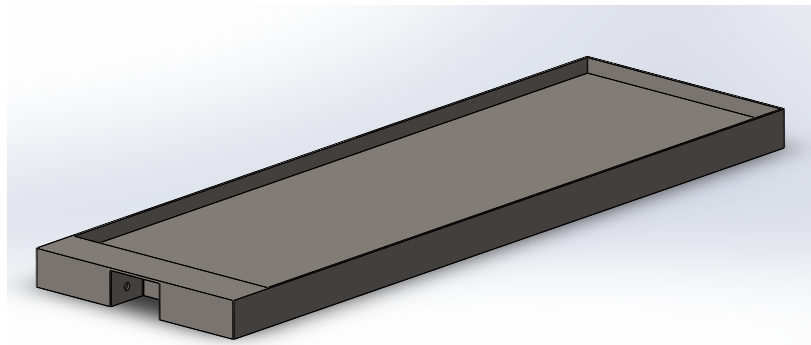


Figura 26: Modelo 3 Mesa Móvil (parte superior)

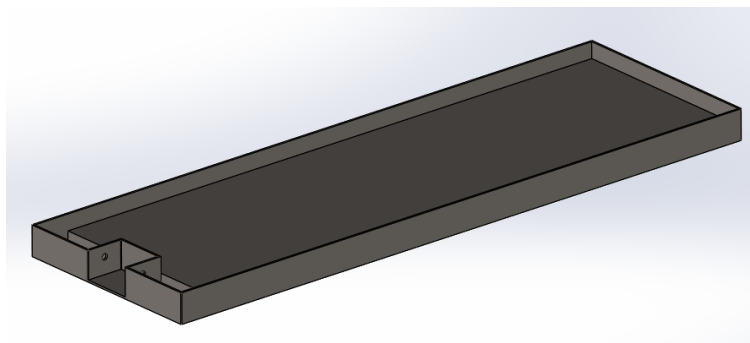


Figura 27: Modelo 3 Mesa Móvil (parte inferior)

Una vez se considera que el modelo presenta un mínimo grado de madurez y que su construcción es viable, se realiza un primer estudio del comportamiento de las mesas ante las cargas esperadas durante su funcionamiento. Para ello se realizó un estudio de elementos finitos mediante Solidworks.

En primera instancia se decide analizar cada una de las mesas de forma independiente, evaluando su comportamiento ante la carga ejercida por la losa de hormigón. Para llevar a cabo este estudio es necesario la colocación de los separadores de las mesas, que como se ha comentado anteriormente, ayudan a realizar el volteo. Por lo que el estudio de carga de la mesa móvil quedaría de la siguiente manera:

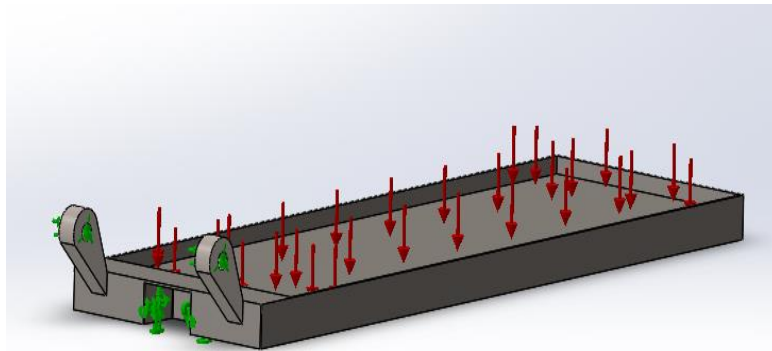


Figura 28: Estudio de carga Modelo 3 Mesa Móvil (1)

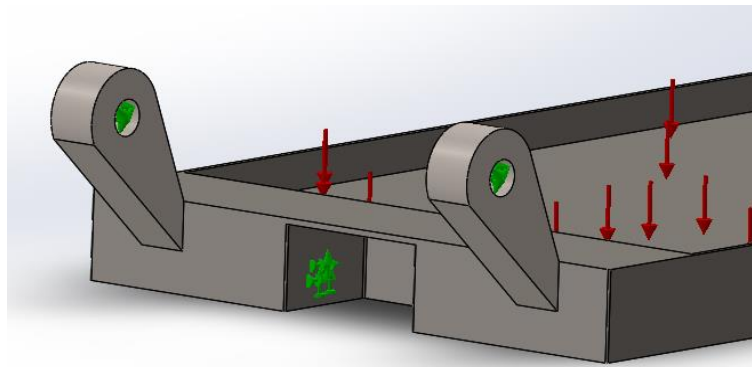


Figura 29: Estudio de carga Modelo 3 Mesa Móvil (2)

CONDICIONES DE CONTORNO:

Las sujeciones que se aplican son de geometría fija en el punto 2, es decir, en el agujero donde va el eje que conecta la parte del mecanismo, que aplica la fuerza para que la mesa realice el volteo, con la mesa móvil. También se aplica una sujeción de bisagra fija en los agujeros de los separadores. Se pueden apreciar en la figura 29.

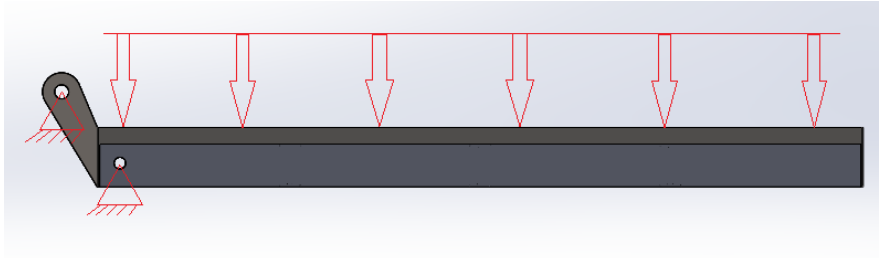


Figura 30: Condiciones de contorno y carga aplicada

CARGAS APLICADAS:

Se aplica una carga distribuida donde iría situada la losa con el valor de la losa de hormigón. Esta carga es de 1412.64 N/m² (cálculo a continuación). Se puede apreciar donde se aplica dicha carga en la figura 30.

$$\begin{aligned} \rightarrow q &= \text{ancho}_{\text{hormigón}} * \rho_{\text{hormigón}} * g = 0.06\text{m} * 2400 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 = \\ &1412.64 \text{ kg/ms}^2 = \\ &= 1412.64 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

El material que se ha utilizado para realizar el estudio ha sido un acero aleado.

El resultado que se obtiene de los desplazamientos de la mesa móvil al aplicarle la carga anterior es el siguiente:

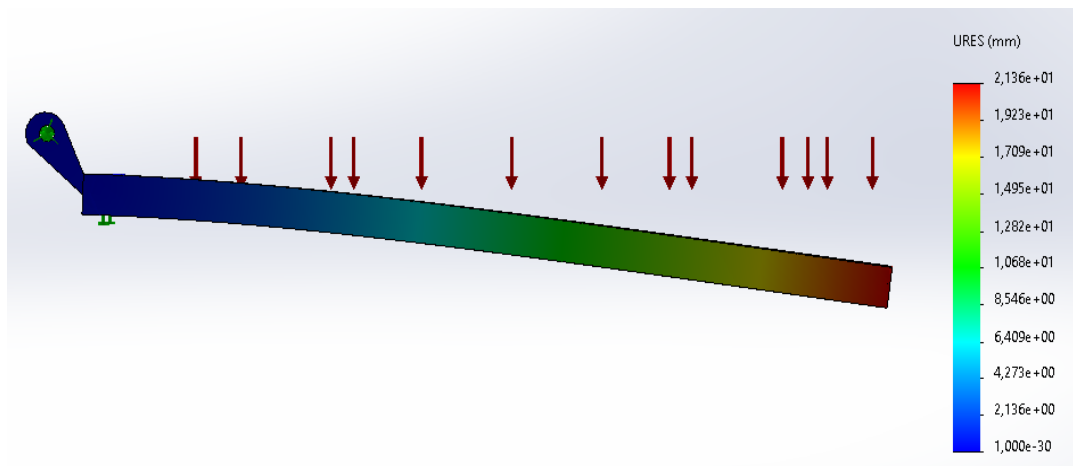


Figura 31: Desplazamientos de la Mesa Móvil

En la figura 31 se puede observar el campo de desplazamientos a lo largo de la mesa, algunas conclusiones rápidas:

- El campo de desplazamientos es compatible con el de una disposición similar a la de una viga en voladizo como era de esperar.
- El desplazamiento máximo en el extremo es de unos 21mm, lo que se considera excesivo.
- Será necesario evaluar el nivel de esfuerzos en las zonas cercanas a las restricciones.

A la vista de los resultados obtenidos de la mesa móvil, y siendo evidente la necesidad de realizar un rediseño de la misma para reducir los desplazamientos máximos, no se considera necesario realizar el estudio a la mesa fija, ya que en este caso ambas mesas van a sufrir cambios.

3.4 Modelo 4

Para solucionar el problema de los desplazamientos a lo largo de la mesa se piensa en colocar unas pletinas de perfil UPN en los laterales, en dirección longitudinal, y unos perfiles IPE en dirección transversal. Con estas pletinas se consigue inercia que es importante a la hora del volteo, y a su vez darían la rigidez necesaria. Estos perfiles se utilizan como refuerzo estructural y así hacer las mesas más rígidas.

Los perfiles que han sido seleccionados son un perfil UPN 120 y un perfil IPE 80, para que el perfil IPE ocupe el alma del perfil UPN, y poder soldarlos mediante un cordón de soldadura de 3mm. A la mesa, en su parte inferior, se le han colocado unas superficies que van entre los perfiles UPN, del ancho del perfil IPE 80 y de la altura necesaria para que la mesa y los perfiles IPE estén en contacto. En la figura 32, se pueden ver las soldaduras entre los perfiles IPE y UPN, y las superficies situadas en la mesa para estar en contacto con los perfiles IPE. Ambas mesas, móvil y fija, tienen la misma estructura y disposición, solo que cambian en el número de perfiles IPE a lo largo de la mesa.

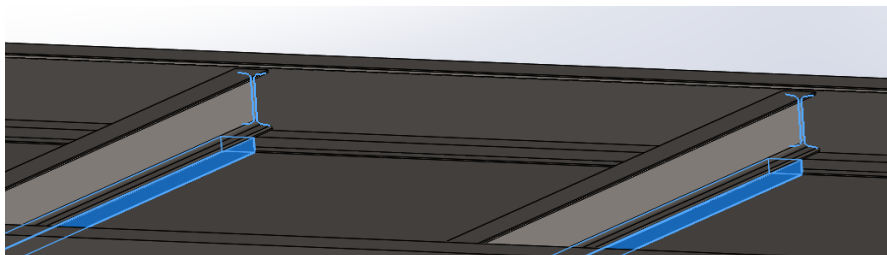


Figura 32: Soldadura entre Perfil IPE y Perfil UPN. Superficie de apoyo entre mesa y perfil IPE. Mesa Móvil

Los perfiles UPN también van soldados a la mesa mediante cordones de soldadura de 5mm. En la figura 33 se pueden observar dichas soldaduras.

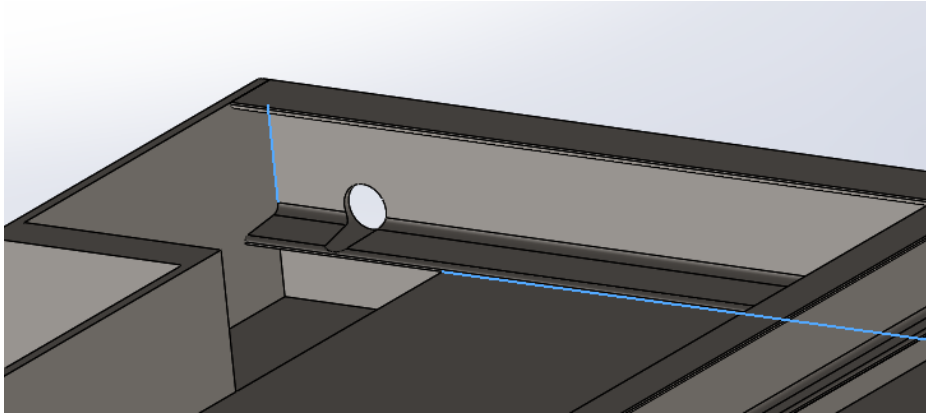


Figura 33: Soldaduras entre la mesa y perfil UPN. Mesa Móvil

Para llevar a cabo todo lo anterior se ha tenido que aumentar el espesor de las mesas de 150 mm a 190 mm, para que debajo de las losas haya el espacio necesario para colocar las pletinas de perfil UPN y los perfiles IPE. Por lo que las medidas de la mesa quedarían, 3220 x 1020 x 190 mm, y la superficie para la losa de hormigón no varía.

Otra modificación que se le ha hecho a la mesa móvil respecto a la anterior es el aumento de espesor, de 10 mm a 40 mm, en la zona donde va colocado un eje (punto 2) ya que es una zona donde hay muchas tensiones y se puede producir una rotura en esa zona.

En la figura 34 se puede ver la mesa fija por su parte superior, en la que se observa el perfil UPN en el lateral. Y en la figura 35, se ve cómo se están organizados los tres perfiles IPE a lo largo de la mesa. Las soldaduras que hacen que estén unidos los perfiles a la mesa y los perfiles entre sí, son las mismas que se muestran en las figuras 32 y 33.

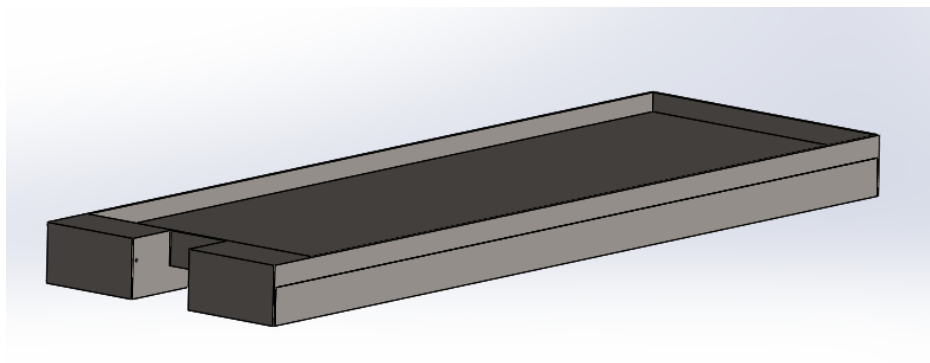


Figura 34: Modelo 4 Mesa Fija (parte superior)

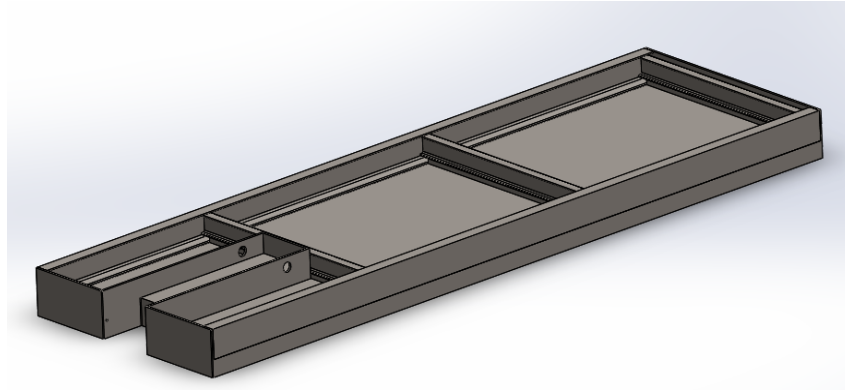


Figura 35: Modelo 4 Mesa Fija (parte inferior)

En las figuras 36 se observa la mesa móvil, en la que se puede apreciar el perfil UPN en el lateral. Y en la figura 37 ya se puede ver la distribución de los 5 perfiles IPE a lo largo de la mesa. Y como ocurre con la mesa fija, las soldaduras entre la mesa y los perfiles UPN, y entre éstos y los perfiles IPE, se observan en las figuras 32 y 33.

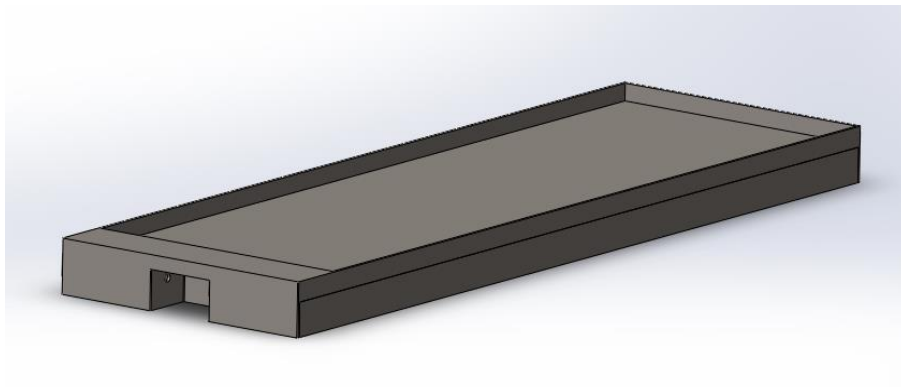


Figura 36: Modelo 4 Mesa Móvil (parte superior)

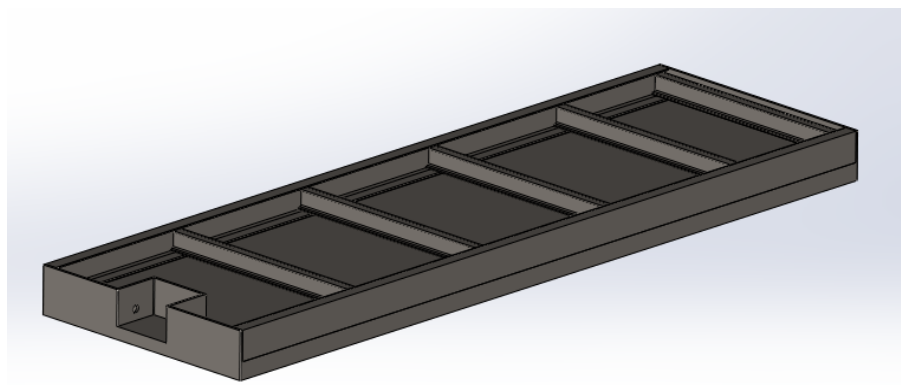


Figura 37: Modelo 4 Mesa Móvil (parte inferior)

Una vez que se realizó el diseño del modelo 4 de las mesas, se le tendría que hacer el estudio de cargas a cada una de ellas, pero en este caso no se les realizó dicho estudio ya que se pensó en rediseñar las mesas pensando en la posibilidad de aumentar la producción de muros dobles, ya que con este diseño

solo se ejecutaría uno en el volteo de la mesa móvil, pudiéndose fabricar varios a la vez o un solo un muro pero de mayor tamaño.

3.5 Modelo 5

La solución que da es aumentar las dimensiones de las mesas. En los anteriores modelos, solo se producía un muro doble con losas de 3000 x 1000 x 60 mm, lo que se plantea con este nuevo modelo es aumentar la producción de muros dobles, hacer varios muros dobles de mayor altura o realizar un muro doble con las dimensiones de la losa.

En este modelo las mesas han aumentado su tamaño, quedando la mesa móvil:

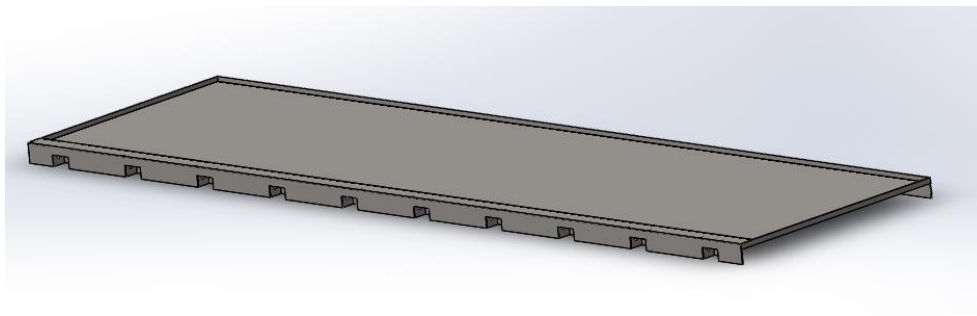


Figura 38: Modelo 5 Mesa Móvil (parte superior)

Como se puede observar en la figura 38, la mesa móvil ha aumentado su tamaño respecto al anterior modelo. En este modelo se tiene la capacidad de producir diez muros dobles, o varios muros dobles de distinta altura o un solo muro del tamaño de la losa. La mesa tiene unas medidas de 3214 x 11460 x 250 mm, y permiten tener en su parte superior una superficie para las losas de 3000 x 11440 x 60 mm. El espesor del material del que está hecho la mesa es de 10 mm.

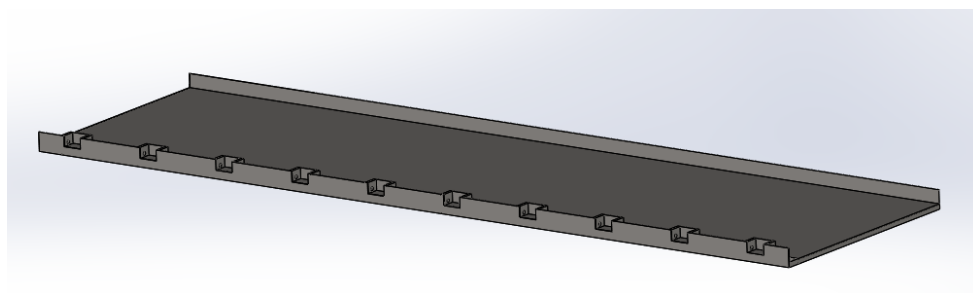


Figura 39: Modelo 5 Mesa Móvil (parte inferior)

El espesor de la mesa es de 250 mm para que haya espacio suficiente en la parte inferior a la losa, los huecos donde se conecta el mecanismo y el entramado de perfiles UPN 180 en los laterales y perfiles IPE 180 en toda la mesa, como se puede observar en la figura 39. En dicha figura, se pueden ver los huecos donde se conecta el mecanismo a la mesa móvil, y son 10 huecos que equivalen a los 10 muros dobles que se pueden llevar a cabo. El agujero pasante para colocar los ejes en su posición se respeta del anterior modelo.

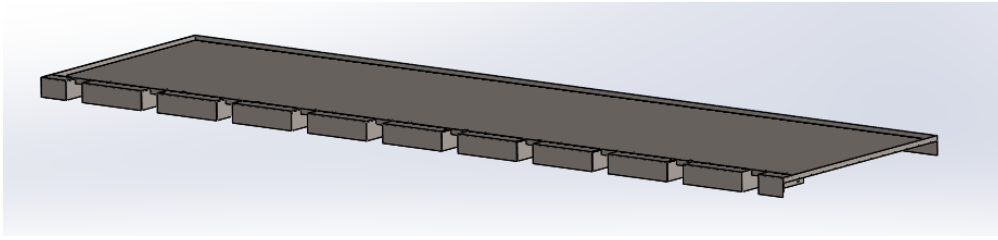


Figura 40: Modelo 5 Mesa Fija (parte superior)

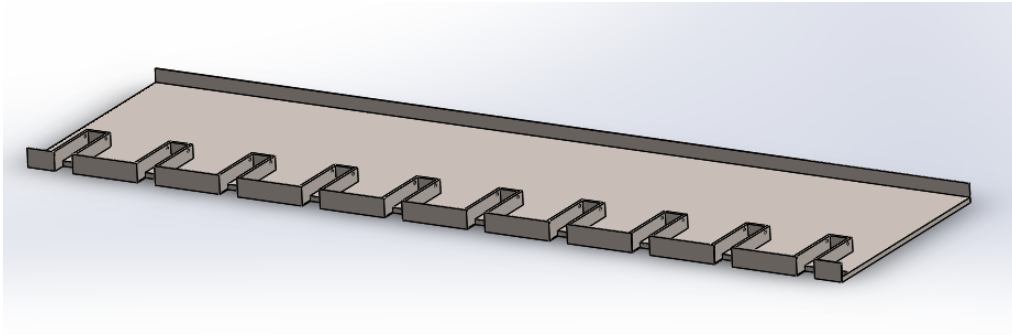


Figura 41: Modelo 5 Mesa Fija (parte inferior)

La mesa fija tiene las mismas dimensiones de mesa y losa que la mesa móvil, lo que las diferencia es en lo que se vienen diferenciando desde el primer modelo, los huecos donde van el mecanismo y en este caso de la mesa fija, también el cilindro hidráulico (figura 40 y 41).

Otro de los aspectos que cambia respecto al anterior modelo, como se puede observar en las figuras 42 y 43, es el entramado de perfiles, que están todos perfectamente acoplados y soldados entre sí, y se elimina la superficie de contacto entre la mesa y los perfiles IPE del anterior modelo ya que en este modelo los perfiles son todos de 180, tanto los UPN de los laterales como el resto de los perfiles que son IPE. En las figuras 42 y 43 también se observa cómo son distintos los entramados de perfiles para la mesa fija y la mesa móvil, debido a los cambios entre ambos diseños. Y en las mismas figuras, se observa la disposición de los separadores, que respecto a los que dispone el modelo tres, en éste la superficie de contacto con la mesa es total, es decir, tiene una cara soldada a la mesa de tamaño el espesor de la mesa (250mm).

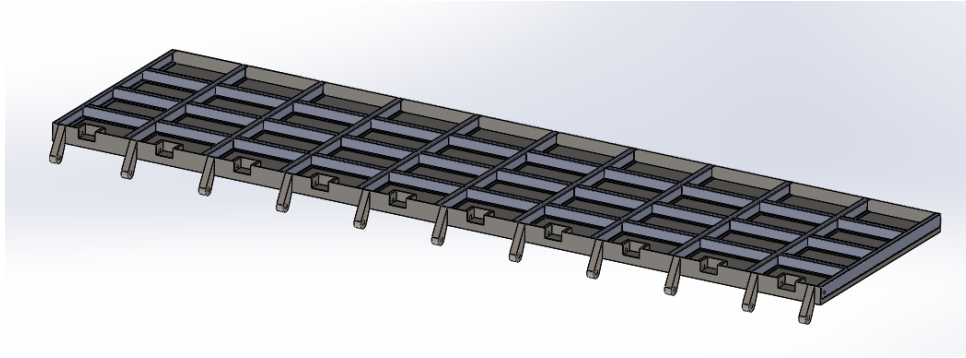


Figura 42: Modelo 5 Mesa Móvil completa (parte inferior)

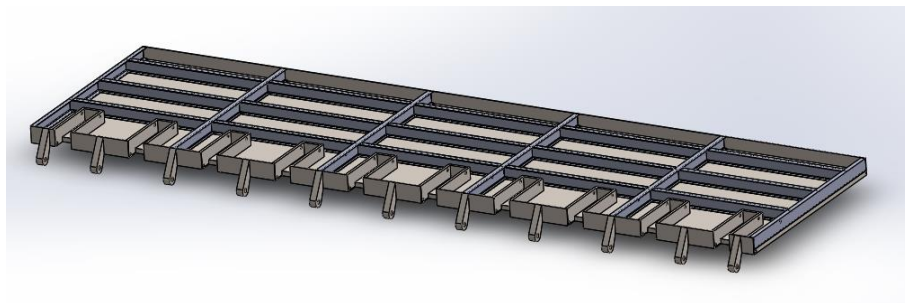


Figura 43: Modelo 5 Mesa Fija completa (parte inferior)

Una vez que ambos modelos presentan un grado de madurez y que la construcción de ambas mesas sería viable, se realizaría el mismo estudio de comportamiento que se le hizo al modelo tres.

Se realizará primeramente el estudio a la mesa móvil de manera independiente, evaluando su comportamiento ante la carga ejercida por la losa de hormigón. Las condiciones de contorno y la carga aplicada siguen siendo las mismas que las del modelo tres (figura 44).

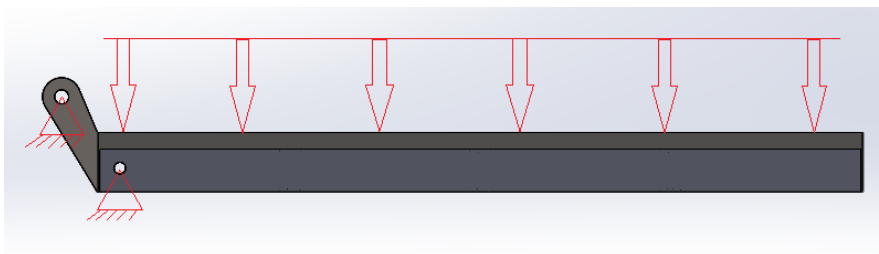


Figura 44: Condiciones de contorno y carga aplicada

Por lo que la mesa móvil con las condiciones de contorno y la carga aplicada quedaría de la siguiente manera:

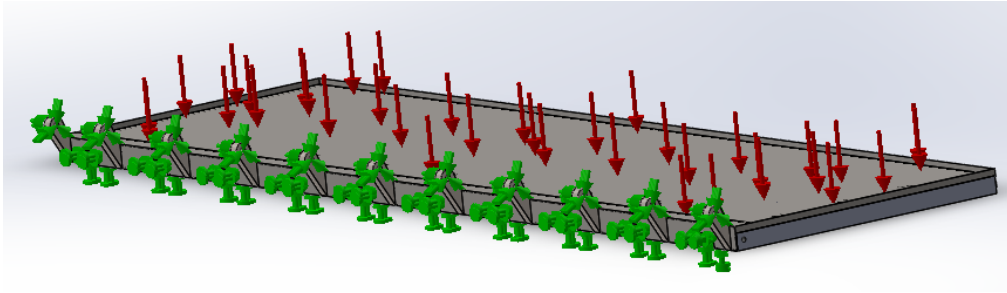


Figura 45: Estudio de carga Modelo 5 Mesa Móvil (1)

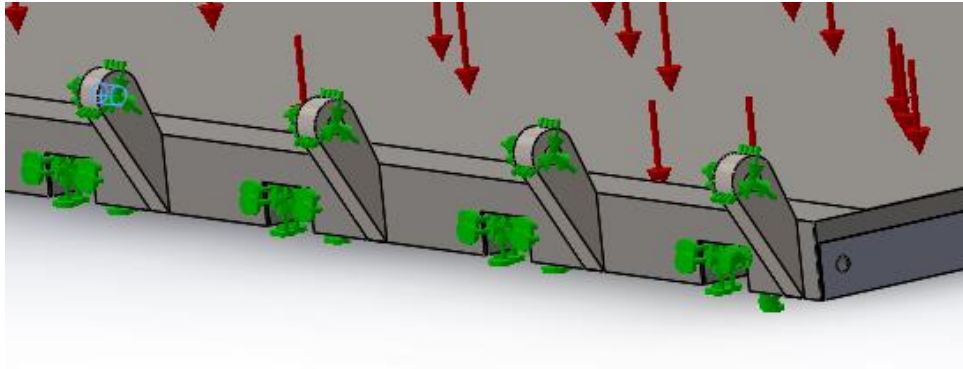


Figura 46: Estudio de carga Modelo 5 Mesa Móvil (2)

La carga que se aplica es la misma que la del modelo tres, es decir, 1412.64 N/m^2 , el material que se ha utilizado para realizar el estudio ha sido un acero aleado, y el resultado que se obtiene de los desplazamientos de la mesa móvil al aplicarle dicha carga es el siguiente:

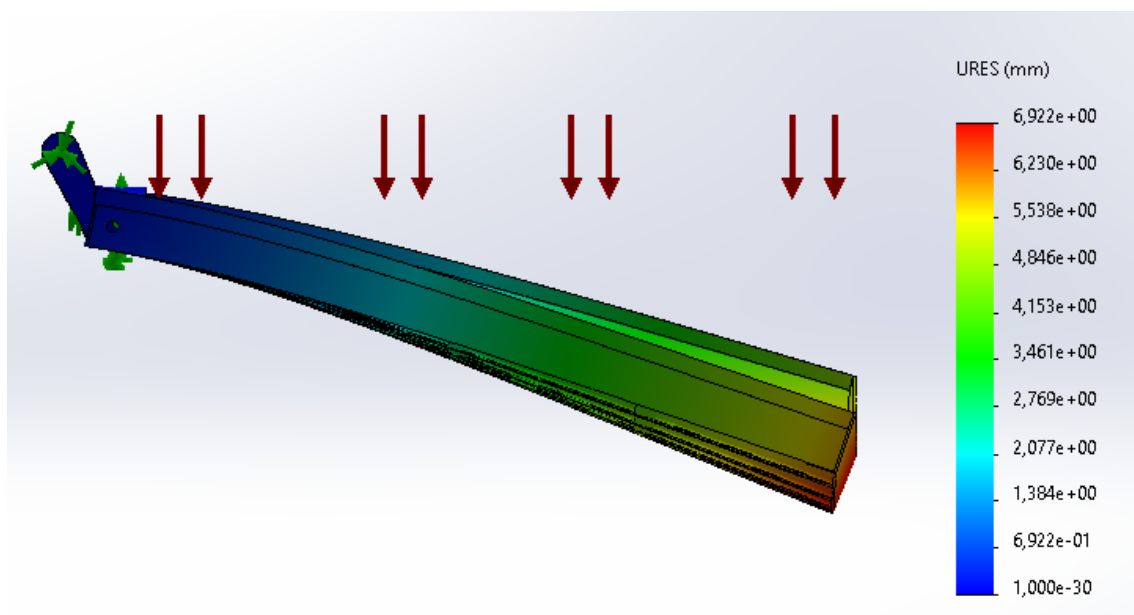


Figura 47: Desplazamientos de la Mesa Móvil

En la figura 47, se observa el campo de desplazamientos a lo largo de la mesa, y se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Al igual que ocurrió con el modelo 3, el campo de desplazamientos es compatible con el de una disposición similar a la de una viga en voladizo, como era de esperar.
- El desplazamiento máximo en el extremo es de 6.92mm, lo que se considera dentro de los límites.

Viendo que el campo de desplazamiento es óptimo, se pasa a evaluar los niveles de esfuerzos en las zonas cercanas a las restricciones.

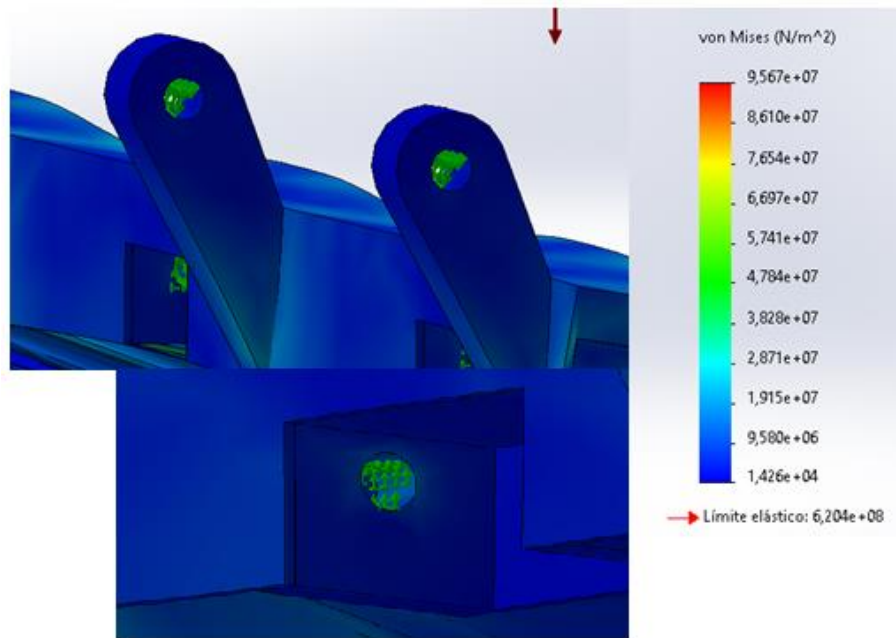


Figura 48: Tensiones en las zonas cercanas a las restricciones

Como se aprecia en la figura 48, las zonas cercanas a las restricciones no tienen ningún problema de esfuerzos, llegando incluso hasta poder absorber mucho más esfuerzo antes de llegar a superar el límite elástico. Las zonas que sufren más por las tensiones son las que se muestran en la figura 49, los acoples de los perfiles longitudinales con la mesa, pero tampoco tienen problemas de rotura ya que las tensiones que se producen en dicha zona están por debajo del límite elástico.

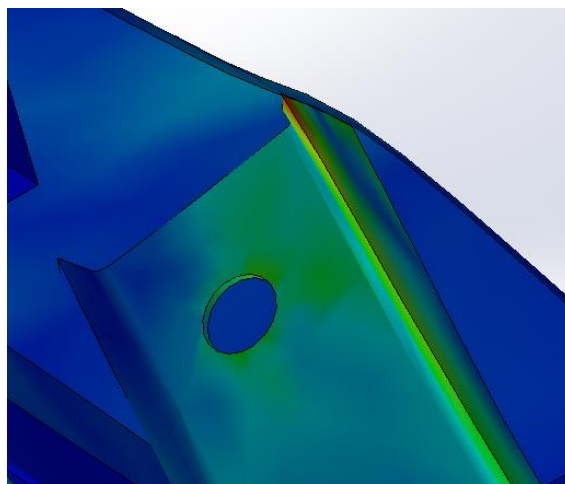


Figura 49: Tensiones en el acople de las vigas longitudinales con la mesa.

Una vez que se realiza el estudio de cargas a la mesa móvil por separado y se han obtenido los resultados, es el momento de hacer el estudio de cargas a la mesa fija. Pero antes de eso, hay que explicar los soportes donde van apoyadas las mesas, ya que la mesa fija siempre está apoyada en su soporte.

Los soportes de ambas mesas son iguales, formados por perfiles UPN 200 en su parte exterior, perfiles IPE 200 en el interior, y tanto las patas como el refuerzo a media altura de las mismas son perfiles de tubos cuadrados de 100x100x8.0 mm, pero hay dos patas que son de 80x80x5.0 mm, que son las patas de los extremos de la zona que no tiene refuerzo, debido a que la superficie que tienen de contacto es solo la del perfil UPN del exterior y en este caso solo tienen un perfil UPN. La zona que no tiene refuerzo se debe a que en ese espacio es donde el mecanismo haría el movimiento para realizar el volteo de la mesa móvil. Todos los perfiles están acoplados entre ellos, y las esquinas de perfiles UPN están acopladas en inglete. La superficie de los soportes es algo mayor a la de las mesas para que no haya problemas en el apoyo, por lo que las dimensiones del soporte serían 11560x3300x500 mm, quedando, como se ha dicho, el refuerzo de las patas a media altura de las mismas.

Las patas de los soportes van soldadas a unas chapas metálicas de 250x250x20 mm con cuatro agujeros de diámetro 20mm para realizar el anclaje del soporte al suelo. Primeramente, se harían unas zapatas por cada zona de anclaje, de las que saldrían los cuatro pernos de anclaje M:20 x 2.5, que se fijarían a la chapa metálica con una tuerca y arandela. En la figura 50 se puede observar la estructura de los soportes, y en la figura 51 se aprecia como sería en anclaje.

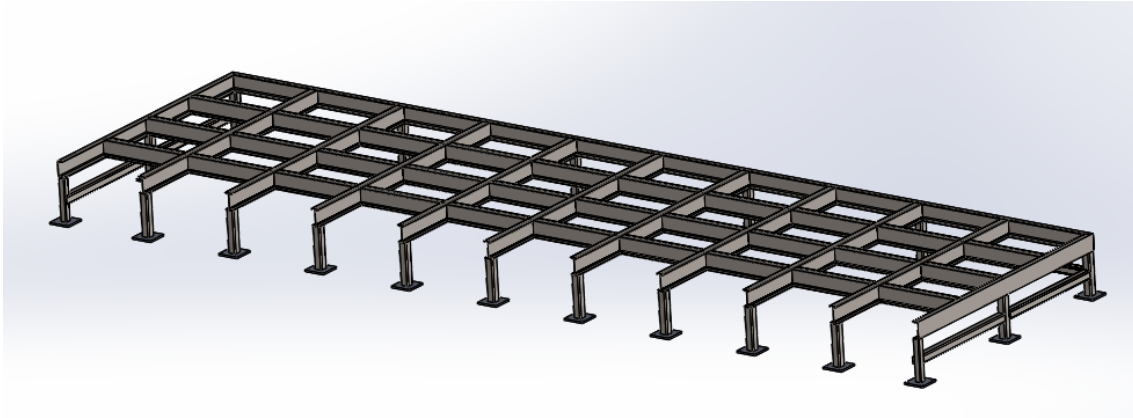


Figura 50: Soporte de las mesas con anclajes.

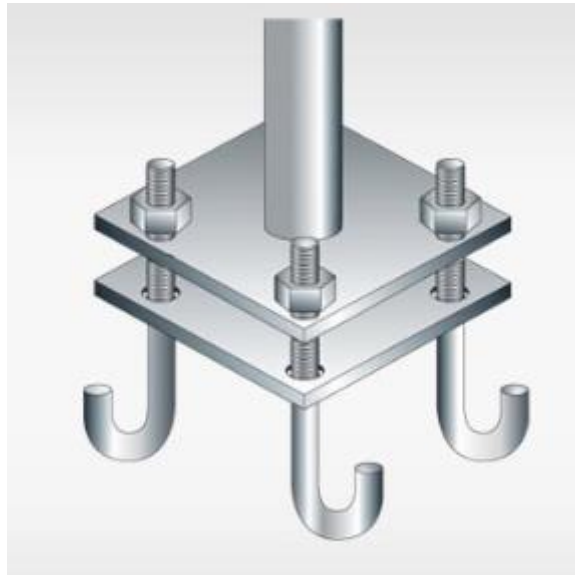


Figura 51: Anclaje al suelo de los soportes de las mesas.

Una vez explicado el soporte de ambas mesas, se puede pasar al estudio de cargas de la mesa móvil.

CONDICIONES DE CONTORNO:

Las sujeciones que se aplican son de geometría fija en los anclajes del soporte al suelo y en los agujeros del punto 1, zona donde va un eje en el que se conecta una parte del mecanismo. También se aplica una sujeción de bisagra fija en los agujeros de los separadores, y en los agujeros donde va el eje al cual se conecta el cilindro hidráulico. Se pueden apreciar en la figura 55.

CARGAS APLICADAS

Se le aplica a misma carga distribuida que la del modelo tres, por tanto, la carga es de 1412.64 N/m^2 . Se apreciar dicha carga en la figura 52.

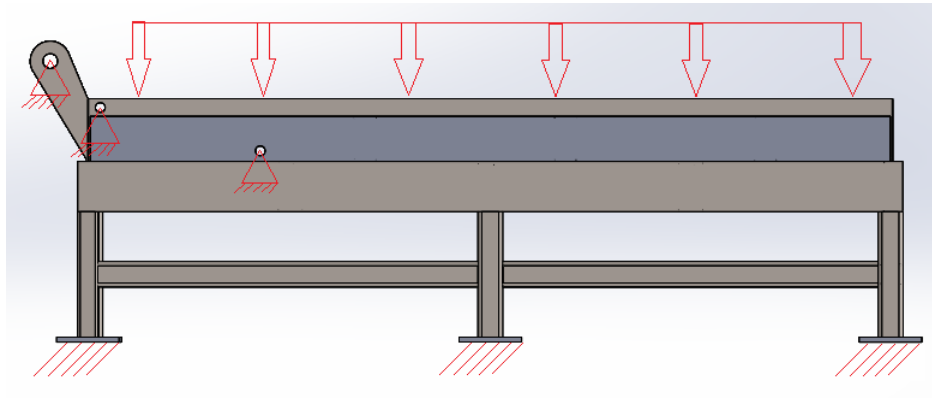


Figura 52: Condiciones de contorno y carga aplicada del modelo 5.

El resultado que se obtiene de los desplazamientos de la mesa fija al aplicarle la carga anterior son los siguientes:

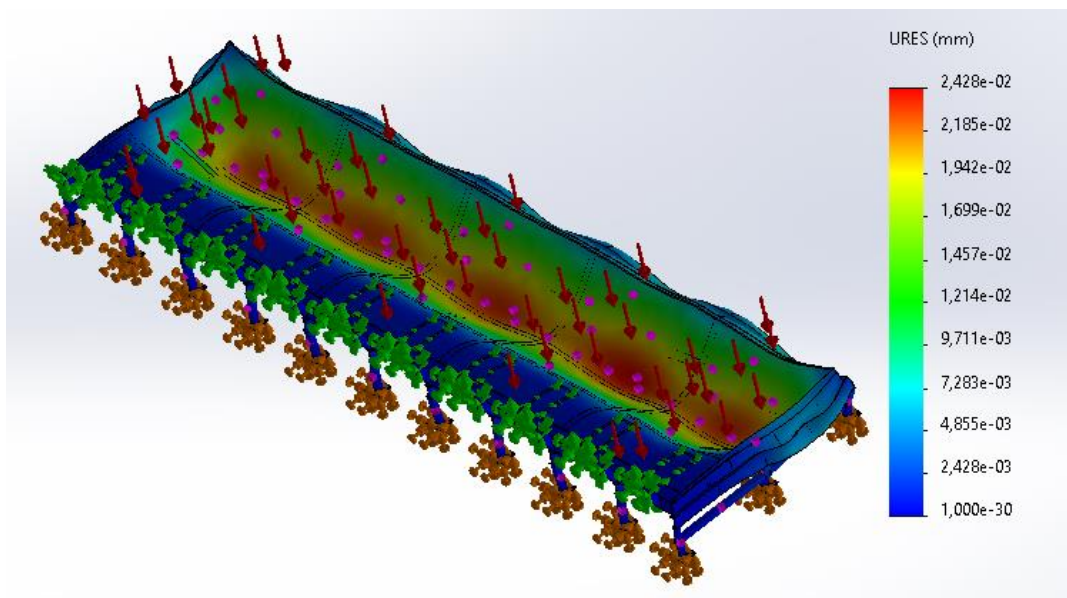


Figura 53: Desplazamientos de la Mesa Fija.

En la figura 53 se observa el campo de desplazamiento a lo largo de la mesa, y de ella se sacan las siguientes conclusiones:

- El campo de desplazamientos que se puede observar es compatible con el de un ensayo a flexión como era de esperar.
- El desplazamiento máximo en la zona intermedia de la losa es casi despreciable ya que se trata de $2.42 \times 10^{-2} \text{ mm}$, lo que se considera que la mesa y el soporte aguantan bastante bien la carga que se le aplica, llegando incluso a poder soportar más.

A la vista de los resultados obtenidos en los desplazamientos, se pasa a evaluar los niveles de esfuerzos a lo largo de la mesa:

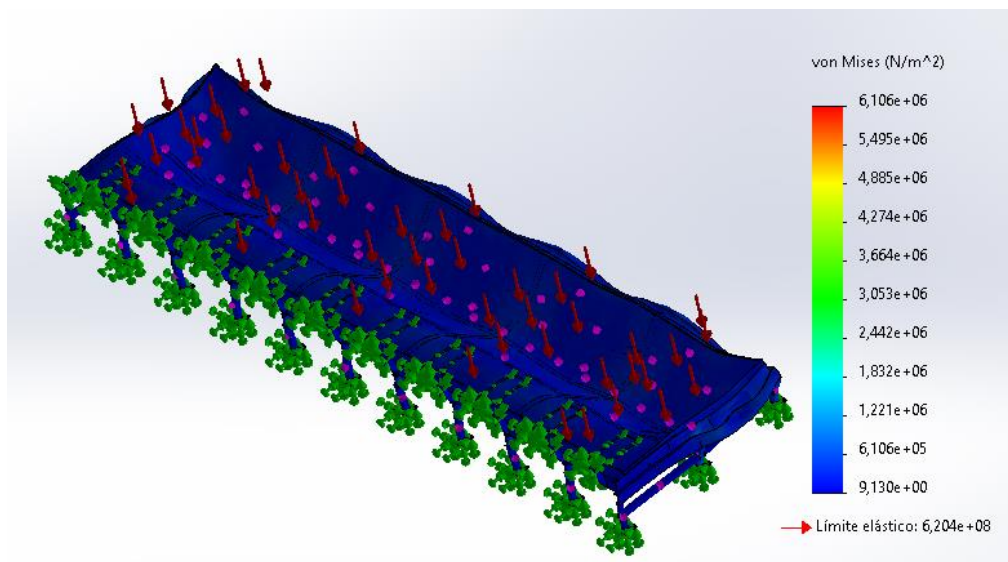


Figura 54: Tensiones Mesa Fija.

En la figura 54 se puede observar cómo ninguna zona de la mesa supera el límite elástico, pero será necesario evaluar las zonas cercanas a las restricciones.

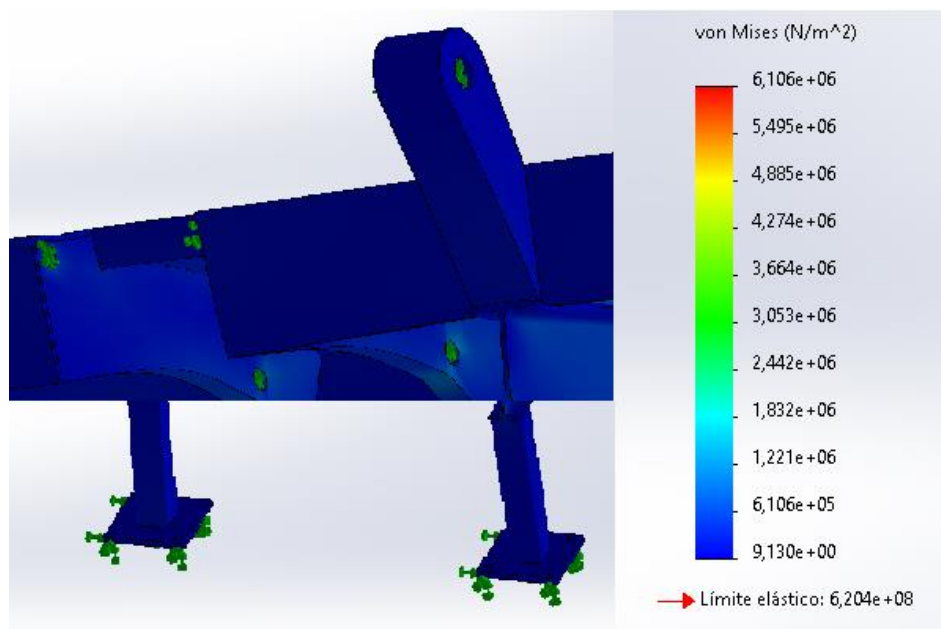


Figura 55: Tensiones en las zonas cercanas a las restricciones.

En las zonas próximas a las restricciones se observa en la figura 55 que no hay ningún problema de sobreesfuerzos.

Esta mesa finalmente fue rechazada ya que es muy complejo controlar las diez botellas al unísono, en desplazamiento y en velocidad. Por lo que se tuvo que tomar la decisión de aumentar la presión de trabajo y disminuir el número de cilindros.

3.6 Modelo 6

Al tomar la decisión de aumentar la presión de trabajo y así disminuir el número de cilindros, se llega a que el número óptimo de cilindros para llevar a cabo el volteo es de dos (cálculos realizados en el apartado de cálculos hidráulicos), por lo que se rediseña el modelo, quedando los siguientes modelos de mesas:

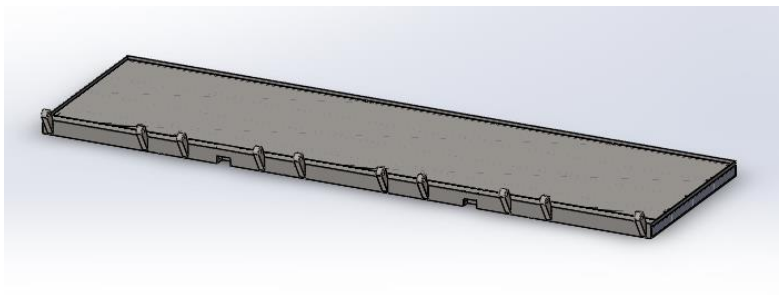


Figura 56: Modelo 6 Mesa móvil (parte superior)

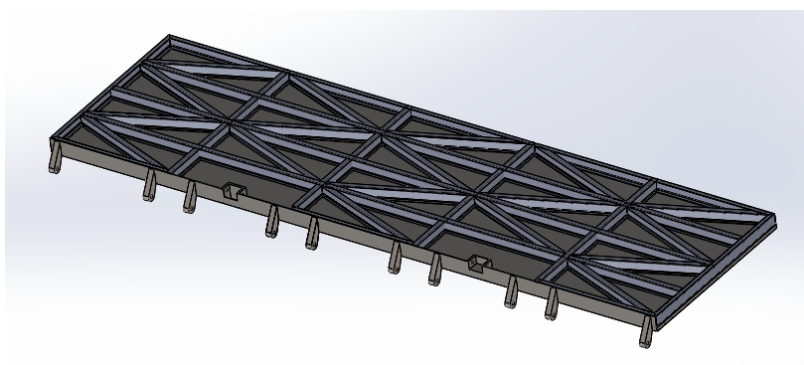


Figura 57: Modelo Mesa Móvil (parte inferior)

Las dimensiones de la mesa y la losa son las mismas que las del modelo anterior.

- Mesas: 3214 x 11460 x 250 mm
- Losas: 3000 x 11440 x 60 mm

En la figura 57 se puede observar una gran diferencia respecto al anterior modelo, y es el entramado de perfiles de la mesa móvil. El cual se tomó la decisión de diseñarlo de tal manera para que el desplazamiento que sufriera la mesa fuese el mínimo posible, más adelante se podrá observar en el estudio de cargas.

El entramado de perfiles tiene en su contorno perfiles UPN 180 excepto en las zonas habilitadas para los cilindros, las cuales están centradas a lo largo de la mesa. En el interior del entramado hay perfiles IPE180 en la disposición que se observa en a figura 57. Todos estos perfiles están perfectamente conectados entre ellos mediante soldaduras, al igual que la mesa al entramado de perfiles.

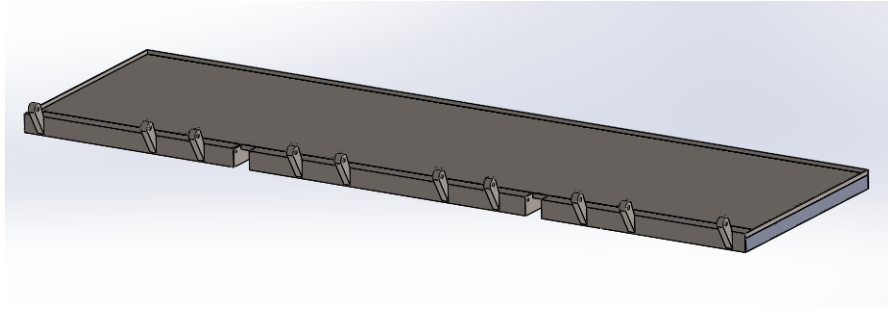


Figura 58: Mesa Fija (parte superior)

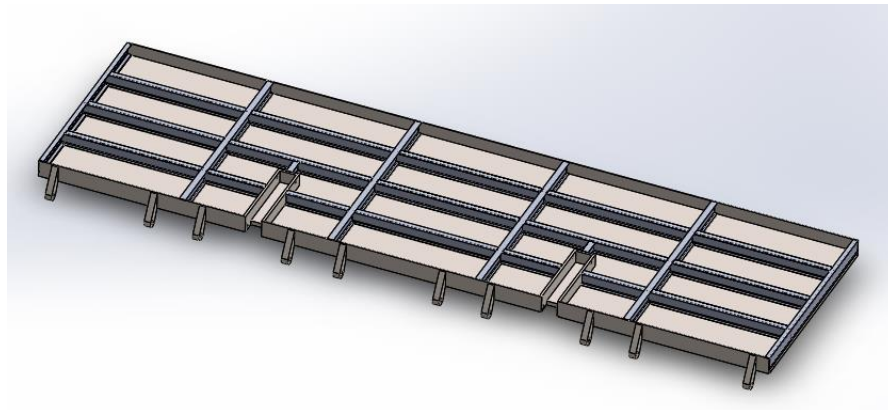


Figura 59: Mesa Fija (parte inferior)

En la figura 59, se observa el cambio del entramado de los perfiles de la mesa fija respecto al modelo anterior. El cambio introducido es el refuerzo mediante perfil IPE 180 de la zona trasera de los huecos donde va colocados los cilindros, para así evitar deformaciones futuras.

Al ser un modelo que se piensa que es el definitivo, se rediseña el soporte de las mesas para así tener una altura de trabajo óptima para la ergonomía del operario. Otro aspecto que se tuvo que tener en cuenta a la hora del diseño de estos soportes son los huecos habilitados para el mecanismo. El soporte se lleva a cabo mediante perfiles UPN 200 en su contorno, y perfiles IPE 200 en el resto del entramado del soporte. Y para respetar la ergonomía, las patas del soporte son de 130 mm de un perfil de sección cuadrada de 100x100x8 mm. El anclaje del soporte al suelo se realiza de la misma manera que se explicó en el anterior modelo. En la figura 60 se observa el nuevo diseño de los soportes de las mesas.

Una vez realizado el diseño de las mesas, se pasa al estudio de comportamiento el cual es el mismo que se le realizó al modelo anterior.

Primeramente, y como se hizo las veces anteriores, se lleva a cabo el estudio de la mesa móvil de manera independiente, imponiéndoles las mismas condiciones de contorno y aplicándole la misma carga que en el modelo anterior:

- Sujeciones fijas en los puntos 2.
- Sujeciones de bisagra en los puntos 3.
- Carga distribuida en la superficie de la losa con un valor de 1412.64 N/m^2

- Y el material que se aplica es un acero aleado.

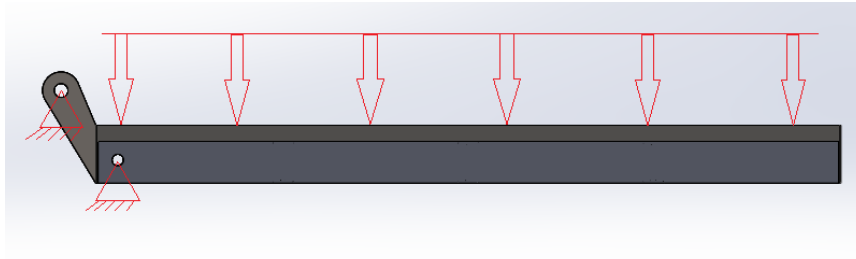


Figura 60: Condiciones de contorno y carga aplicada

Al aplicarle las condiciones de contorno y la carga aplicada la mesa quedaría de la siguiente manera:

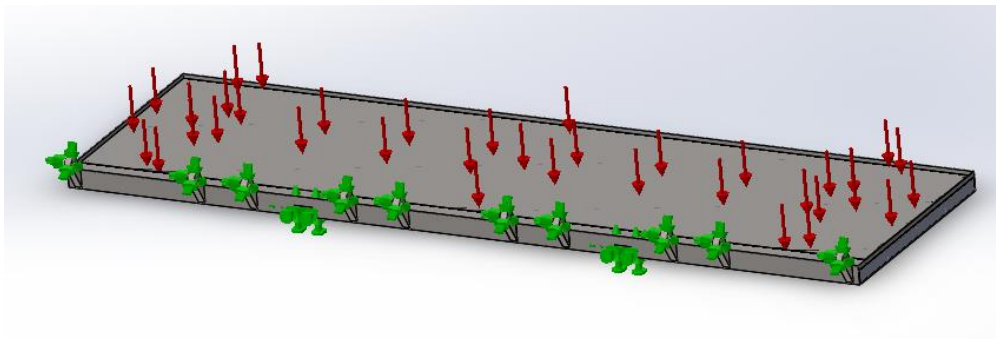


Figura 61: Estudio de carga Modelo 6 Mesa Móvil

Obteniéndose el siguiente campo de desplazamientos:

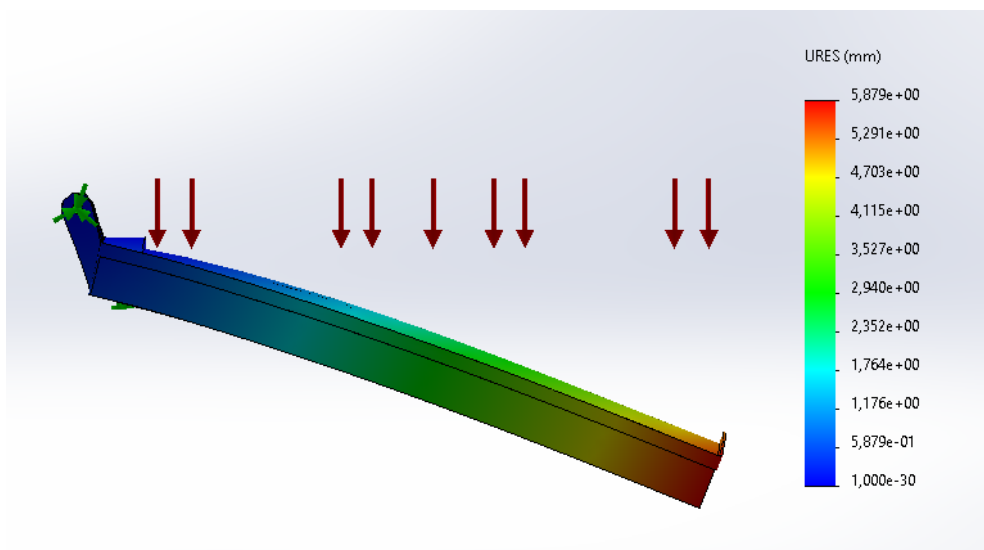


Figura 62: Desplazamientos de la Mesa Móvil

Como era de esperar y observando los resultados de los modelos 3 y 5, se sacan las siguientes conclusiones de la figura 62:

- El campo de desplazamiento sigue siendo compatible con el de una viga en voladizo, al igual que ocurrió en los modelos 3 y 5.
- El desplazamiento máximo sigue ocurriendo en el extremo y es de unos 5.8 mm, lo que se considera dentro de los límites.

A la vista de estos resultados, se pasa a evaluar el campo de tensiones:

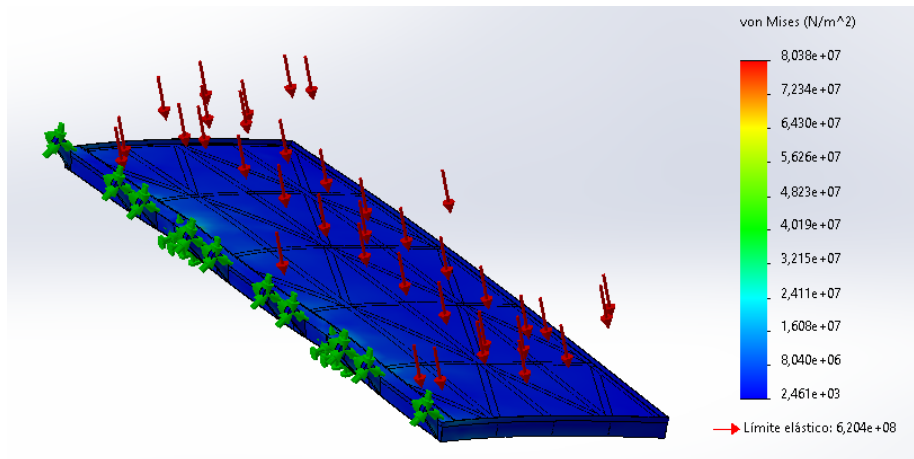


Figura 63: Tensiones en las zonas cercanas a las restricciones

En la figura 63 se observan las tensiones a lo largo de la mesa y ninguna zona de la mesa supera el límite elástico por lo que no hay problemas de rotura.

Una vez que se realiza el estudio de la mesa móvil, se pasa al estudio de cargas de la mesa fija. Dicho estudio hay que realizárselo con el soporte de la misma incluido, el cual ha sufrido cambios de diseño respecto al modelo anterior.

Al ser un modelo que se piensa que es el definitivo, se rediseña el soporte de las mesas para así tener una altura de trabajo óptima para la ergonomía del operario. Otro aspecto que se tuvo que tener en cuenta a la hora del diseño de estos soportes son los huecos habilitados para el mecanismo. El soporte se lleva a cabo mediante perfiles UPN 200 en su contorno, y perfiles IPE 200 en el resto del entramado del soporte. Y para respetar la ergonomía, las patas del soporte son de 130 mm de un perfil de sección cuadrada de 100x100x8 mm. El anclaje del soporte al suelo se realiza de la misma manera que se explicó en el anterior modelo (figura 51). En la figura 64 se observa el nuevo diseño de los soportes de las mesas.

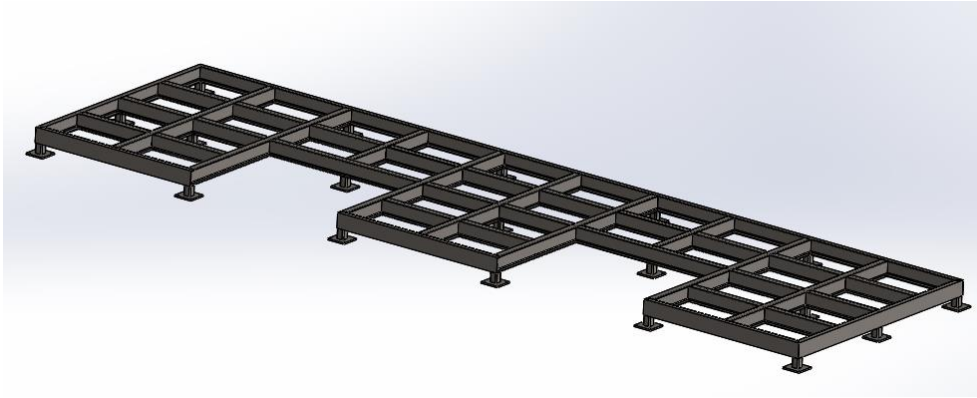


Figura 64: Soporte Mesas Modelo 6

Una vez explicado esto, se pasa al estudio de cargas de la mesa fija, aplicándole las mismas condiciones de contorno y carga aplicada que a la mesa fija del modelo anterior, es decir:

- Sujeciones de geometría fija en los anclajes del soporte al suelo y en los agujeros del punto 1, zona donde va un eje en el que se conecta una parte del mecanismo.
- Sujeciones de bisagra fija en los agujeros de los separadores, y en los agujeros donde va el eje al cual se conecta el cilindro hidráulico.
- Se aplica una carga distribuida de valor 1412.64 N/m^2
- Y el material que se aplica es acero aleado.

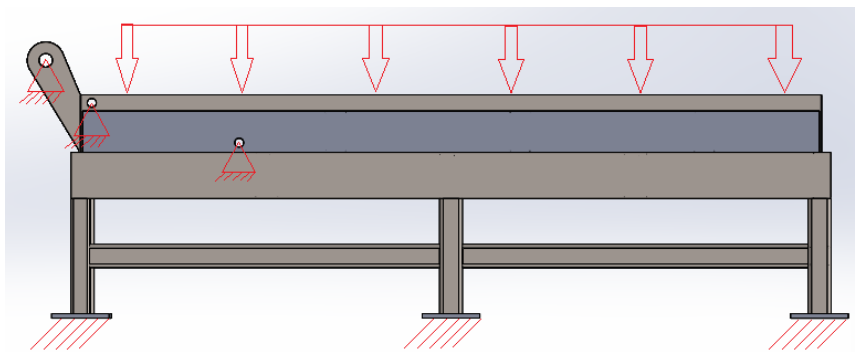


Figura 65: Condiciones de contorno y carga aplicada del modelo 6.

Al aplicarle las condiciones de contorno, quedaría de la siguiente manera:

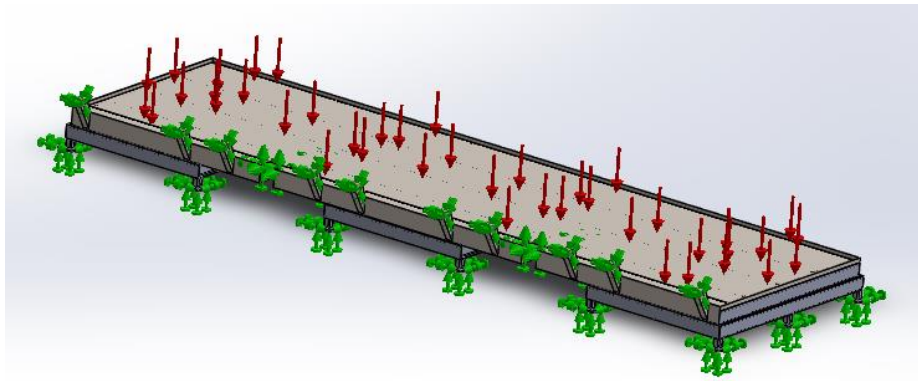


Figura 66: Estudio de carga Mesa Fija. Restricciones.

El resultado que se obtiene de los desplazamientos de la mesa fija con su soporte al aplicarle la carga es:

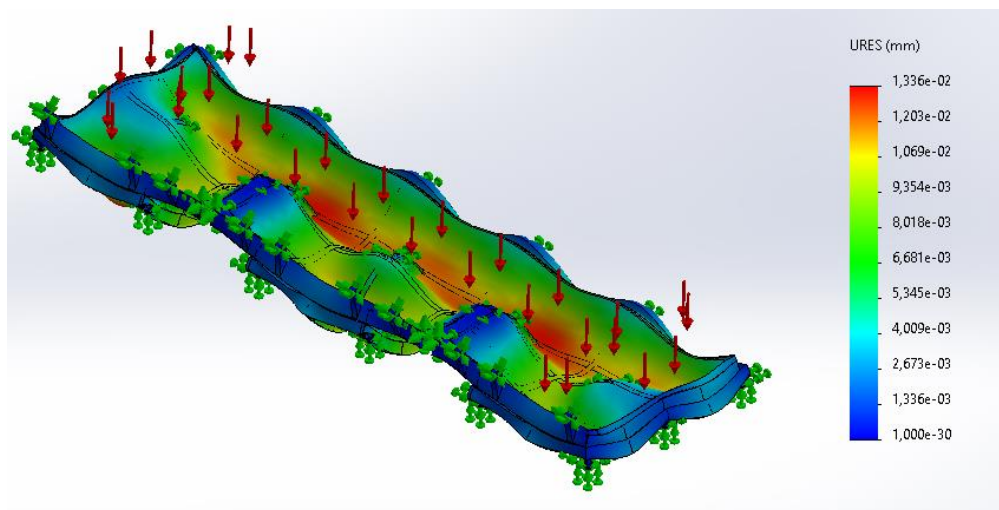


Figura 67: Desplazamientos Mesa Fija

En la figura 67 se observa el campo de desplazamiento a lo largo de la mesa y se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El campo de desplazamientos que se obtiene es similar al que se obtiene en el modelo 5.
- El desplazamiento máximo en la zona intermedia de la losa es despreciable ya que se trata de $1.336e-02$ mm.

En vista a estos resultados, se pasa a evaluar las tensiones a lo largo de la mesa y del soporte y sobre todo en las zonas próximas a las restricciones.

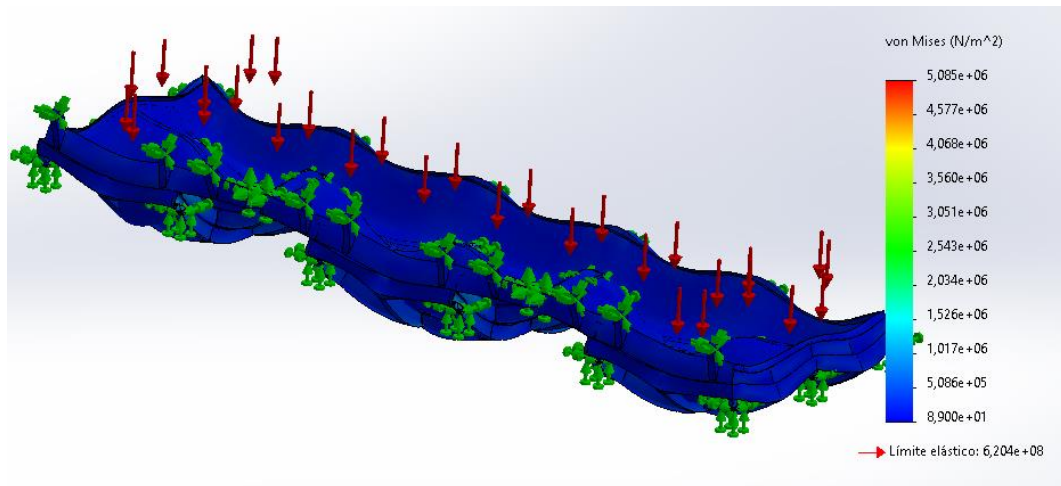


Figura 68: Tensiones Mesa Fija

En la anterior figura se puede observar cómo no hay ninguna zona de la mesa que supere el límite elástico, y que aguanta bastante bien a la carga aplicada.

Finalmente, este último modelo fue el elegido debido a:

- Adaptación a las restricciones del mecanismo.
- Aguante de las mesas y los soporte a las cargas aplicadas, teniendo unas deformaciones que se consideran dentro del margen de deformación.
- Su fabricación es viable ya que lo más requiere son soldaduras para unir las chapas y perfiles.

Los separadores finalmente son soldados a las mesas y separados de tal manera en las dos mesas para cuando se ensamblen ambas mesas queden éstos a una distancia de 17mm.

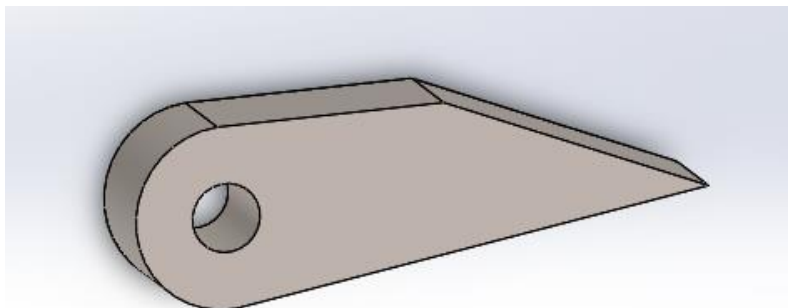


Figura 69: Separadores

3.7 Seguridad y Salud

3.7.1 Salud y ergonomía

Según la RAE, ergonomía es “*el estudio de la adaptación de las máquinas, muebles y utensilios a la persona que los emplea habitualmente, para lograr una mayor comodidad y eficacia*”. Como las mesas van a tener que ser tratadas por operarios, éstas se tienen que diseñar siguiendo unas pautas sobre ergonomía y salud.



Figura 70: Salud y ergonomía

Es fundamental considerar durante el diseño de la máquina estos factores para contribuir a su prevención. La detección de posibles riesgos y aportar soluciones innovadoras son la clave para mejorar las condiciones de trabajo de los trabajadores de cualquier sector.

Teniendo en cuenta que el trabajo de los operarios en las mesas es:

- Colocar correctamente las armaduras de las losas y del muro doble, pero dichas armaduras llegan a su posición con la ayuda por ejemplo de un puente grúa.
- Extender el hormigón por las losas una vez se realice la operación de vertido del mismo.
- Desmoldeo.
- Y el almacenamiento con la ayuda de un puente grúa, por lo que solo tendrían que realizar el paso de conectar el muro doble con el puente grúa.

Por tanto, las actividades que tienen que realizar los operarios no requieren un gran esfuerzo, pero si necesitan mantener en todo momento una buena ergonomía para no sufrir lesiones que le impidan realizar su trabajo.

Las lesiones o daños que pueden sufrir los operarios son las siguientes:

- El tener los hombros flexionados un ángulo mayor a 60° durante una hora-día puede provocar problemas de cuello.
- Tener las manos a la altura de los hombros o por encima de ellos puede provocar tendinitis y otras lesiones de hombro.
- La zona lumbar sufre si no se mantiene la espalda recta a la hora de trabajar.
- Un operario que trabaje con una postura agachada hace que aumente el riesgo de lesiones.

Ante esto se plantea que altura de mesa sería la correcta, para que los operarios dispongan de una buena postura en las actividades que tienen que desarrollar. Para ello, se va a tomar la altura media de un operario de 180cm.

Por lo que, entre las actividades a desarrollar, la altura media del operario y las lesiones que se pueden sufrir, se podría decir que una buena altura de las mesas sería a media altura del operario para que pueda desarrollar sus actividades sin problemas.

A la vista de todo esto, se tomó la decisión de tener las mesas a una altura de 62cm, altura apropiada para que los operarios desarrollen sus actividades correctamente.

3.7.2 Seguridad

Respecto a la seguridad de los operarios, los peligros a los que pueden estar sometidos con la máquina son:

- Aplastamiento, debido al volteo de la mesa móvil cuando esta complete su giro.
- Atrapamiento o arrastre.
- Proyección de fluido a alta presión, por el sistema hidráulico que lleva incorporado el mecanismo.

En cualquier análisis de este tipo es fundamental realizar una valoración del riesgo donde se tenga en cuenta la probabilidad de ocurrencia y la gravedad del mismo. Aquellos sucesos muy probables y aquellos de gravedad deben eliminarse durante la fase de diseño de la máquina.

Las medidas de protección consisten fundamentalmente en:

- Resguardos y defensas (encierran o evitan el acceso a los puntos peligrosos)
- Dispositivos de protección (protegen puntos peligrosos descubiertos totalmente o de muy fácil acceso).

Teniendo en cuenta la gravedad de alguno de los riesgos identificados como el de atrapamiento por las partes móviles de la máquina se considera necesario disponer de unos sistemas de seguridad a lo largo de las mesas, de forma que siempre que se vaya a realizar el volteo de la mesa móvil se asegure que la zona de actuación de la máquina esté libre. Esto se podría llevar a cabo mediante:

- Sensores de emisor y receptor que, al ponerse entre ellos, haría saltar una alarma.
- Paradas de emergencia en el sistema eléctrico.
- Perímetro de seguridad (vallado) con bloque eléctrico de la operación de la máquina en caso de acceso.

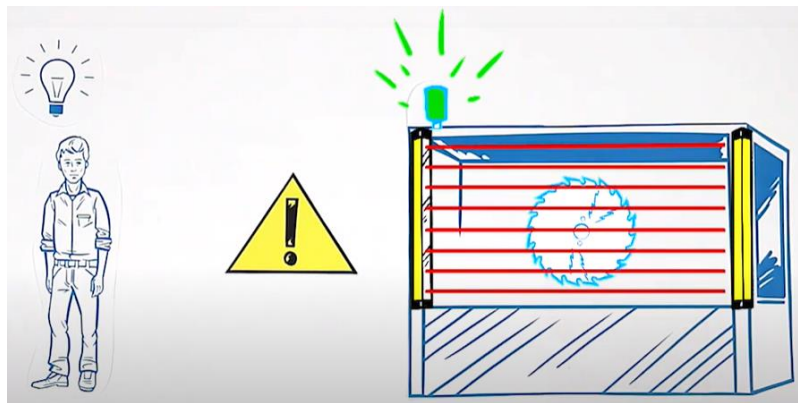


Figura 71: Protección con sensor emisor receptor



Figura 72: Protección con perímetro de seguridad

A parte de los sistemas de seguridad, todo operario deberá trabajar con los EPIs del sector:

- Protección de cabeza.
- Protección ocular y facial.
- Protección auditiva.
- Protección de manos.
- Protección de pies.



Figura 73: EPIs

4. MODELADO CINEMÁTICO

El estudio de la cinemática del movimiento que la mesa móvil tiene que realizar se ha llevado a cabo mediante cálculos, obteniendo una serie de relaciones trigonométricas entre las diferentes partes del mecanismo. El aspecto más importante es el ángulo de giro.

Aunque los diseños de las mesas han sufrido cambios a lo largo del proyecto, al realizar el modelado cinemático en función de unos parámetros y que los puntos se han ido modificando a raíz de los cambios de las mesas, es decir, todo está parametrizado, se han podido obtener las ecuaciones que rigen el volteo de 180° de la mesa fija y el movimiento de los puntos móviles del mecanismo.

En primer lugar, se va a mostrar el croquis del que se parte para llevar a cabo el modelado cinemático:

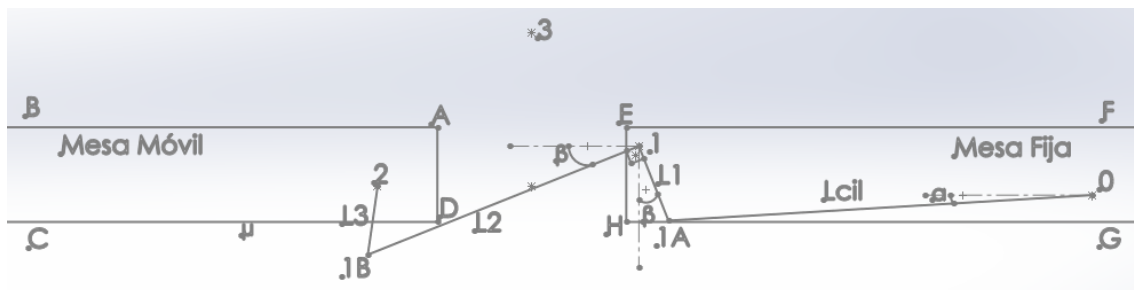


Figura 74: Croquis del mecanismo (1)

La figura 74 muestra la situación de partida, sin dar comienzo el volteo. En ella se muestran todos los puntos importantes y partes que forman el mecanismo. A continuación, se va a explicar todo lo que aparece en la figura anterior:

0 – Punto de origen del mecanismo, lugar desde donde parten los cilindros.

- 1A – Punto de conexión entre el cilindro y la barra L1.
- 1 – Punto fijo de la mesa fija, y conecta a las barras L1 y L2.
- 1B – Punto móvil donde se conectan las barras L2 y L3.
- 2 – Punto fijo de la mesa móvil, donde se ejerce la fuerza para realizar el giro.
- 3 – Punto de conexión entre las dos mesas.
- A, B, C, D – Puntos de los extremos de la mesa móvil.
- E, F, G, H – Puntos de los extremos de la mesa fija.
- μ – Ángulo de giro.
- α – Ángulo que forma el cilindro con la horizontal.
- β – Ángulo que forman las dos partes del mecanismo en “L”, respecto a la horizontal la parte L2, y respecto a la vertical la parte L1.
- L_{cil} – Longitud del cilindro
- L1, L2, L3 – Partes del mecanismo.

De los puntos que se han explicado, se conocen las coordenadas de 0, 1, 3, las cuales son fijas durante todo el volteo. Del punto 2 se conoce su posición de partida y que es fijo en la mesa móvil, pero no se conoce su trayectoria. Del ángulo μ , se conoce que va de 0° a 180° . L_{cil} dependerá de la posición del punto 1A durante el volteo.

Para la obtención de las ecuaciones que rigen el volteo de la mesa móvil se han necesitado algunos puntos auxiliares que a continuación se van a mostrar:

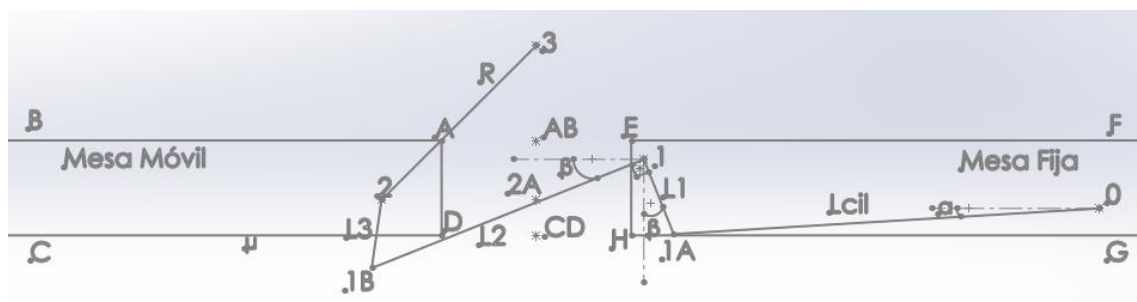


Figura 75: Croquis del mecanismo (1)

En la figura 75 aparecen los puntos auxiliares 2A, AB y CD, que sirven para la obtención de las coordenadas de 2, A y B, y C y D, respectivamente. Siendo R la distancia entre el punto 2 y 3.

La trayectoria que tienen que realizar los puntos A, B, C, D y 2, es un giro de 180° , y en la figura siguiente se muestra la trayectoria que siguen esos puntos:

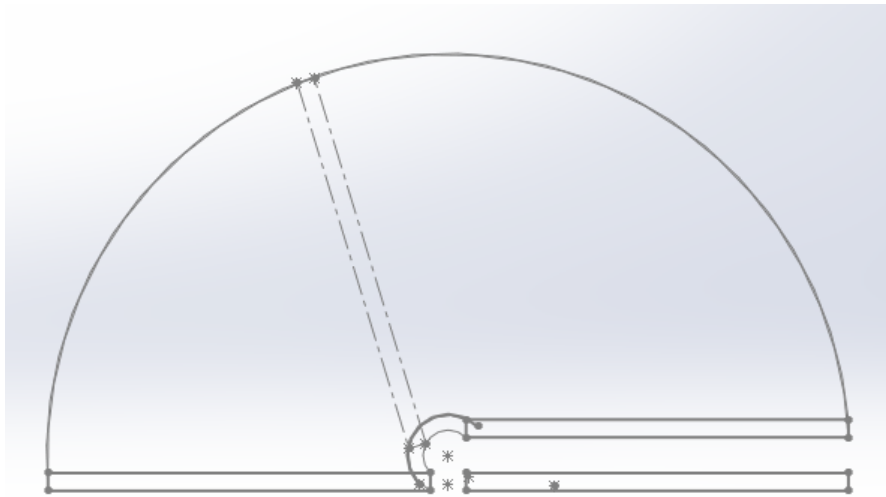


Figura 76: Trayectoria de la Mesa Móvil

A continuación, se van a desarrollar las ecuaciones que rigen la trayectoria de la mesa móvil, estas ecuaciones han sido implementadas en el programa Excel.

- 1) Obtención de las coordenadas del punto 2A, y con ellas se sacan las coordenadas de 2.

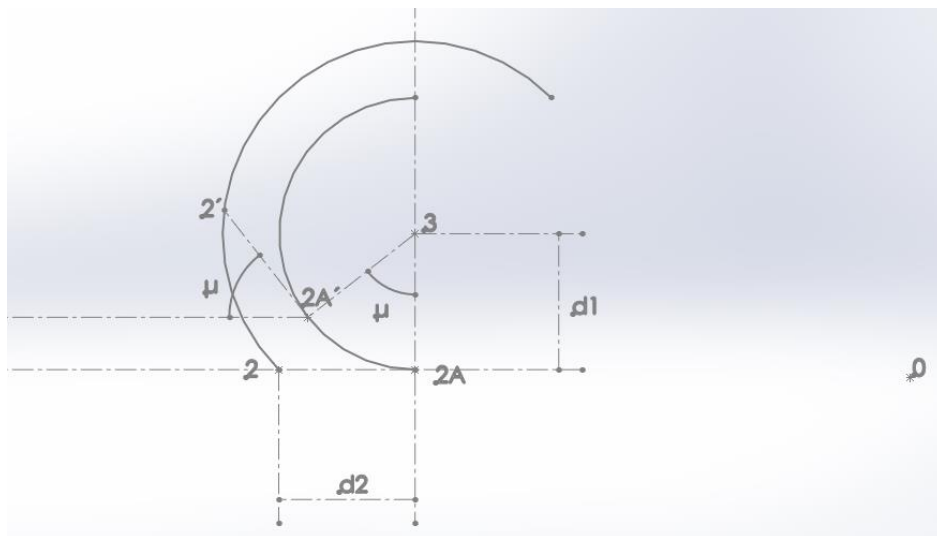


Figura 77: Croquis puntos 2 y 2A

$$x_{2A} = x_3 - d_1 \cdot \text{sen}(\mu)$$

$$y_{2A} = y_3 - d_1 \cdot \text{cos}(\mu)$$

siendo $d_1 = y_3 - y_2$

$$x_2 = x_{2A} + d_2 \cdot \text{cos}(\mu)$$

$$y_2 = y_{2A} - d_2 \cdot \text{sen}(\mu)$$

siendo $d_2 = x_2 - x_3$, quedando las coordenadas de 2:

$$x_2 = x_3 - d_1 \cdot \text{sen}(\mu) + d_2 \cdot \text{cos}(\mu)$$

$$y_2 = y_3 - d_1 \cdot \text{cos}(\mu) - d_2 \cdot \text{sen}(\mu)$$

Teniendo las coordenadas de 2 y de 3, se debe de cumplir que:

$$(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 = R^2$$

- 2) Una vez se tienen las trayectorias, en función del ángulo de giro (μ), de los puntos 2 y 2A, se pueden obtener del mismo modo las trayectorias de los puntos extremos de la mesa móvil (A, B, C y D). Para ello, primeramente, se tienen que calcular las coordenadas de los puntos AB y CD, y su trayectoria. La figura 77 sirve de ayuda en esta parte ya que las ecuaciones de esta parte han sido obtenidas del mismo modo:

$$AB_x = x_3 - d_3 * \text{sen}(\mu)$$

$$AB_y = y_3 - d_3 * \text{cos}(\mu)$$

siendo $d_3 = y_3 - y_A$

$$x_A = x_3 - d_3 * \text{sen}(\mu) + d_4 * \text{cos}(\mu)$$

$$y_A = y_3 - d_3 * \text{cos}(\mu) - d_4 * \text{sen}(\mu)$$

siendo $d_4 = x_A - x_3$

$$x_B = x_3 - d_3 * \text{sen}(\mu) + d_5 * \text{cos}(\mu)$$

$$y_B = y_3 - d_3 * \text{cos}(\mu) - d_5 * \text{sen}(\mu)$$

siendo $d_5 = x_B - x_3$

$$CD_x = x_3 - d_6 * \text{sen}(\mu)$$

$$CD_y = y_3 - d_6 * \text{cos}(\mu)$$

siendo $d_6 = y_3 - y_D$

$$x_C = x_3 - d_6 * \text{sen}(\mu) + d_8 * \text{cos}(\mu)$$

$$y_C = y_3 - d_6 * \text{cos}(\mu) - d_8 * \text{sen}(\mu)$$

siendo $d_8 = x_C - x_3$

$$x_D = x_3 - d_6 * \text{sen}(\mu) + d_7 * \text{cos}(\mu)$$

$$y_D = y_3 - d_6 * \text{cos}(\mu) - d_7 * \text{sen}(\mu)$$

siendo $d_7 = x_D - x_3$

Anexo Cinemática

5. SISTEMA DE ACTUACIÓN

5.1 Actuadores y tipos

Los actuadores lineales son dispositivos que generan una fuerza a partir de líquidos (hidráulicos), normalmente aceite, gases (neumáticos) y de energía eléctrica (eléctricos). Los actuadores lineales generan un movimiento lineal ofreciendo un control excelente, y son de gran utilidad en equipos automatizados que necesitan una fuente de impulsos.

Los actuadores se pueden diseñar según la función que vayan a realizar, por lo que sus características principales como la velocidad, carrera, dimensiones o

carga..., se pueden ajustar para adaptar el dispositivo a las necesidades que requiere su aplicación. A continuación, se explican algunas de las características principales:

- *Carga*: cantidad de fuerza (Newton) que tiene que aplicar el actuador para realizar su función. Viene determinada por el peso de lo que se quiere mover, ángulo de transmisión, par y fricción. Esta característica es muy importante, ya que se podría tener un actuador lento o rápido si sobrevaloramos la carga, y esto afectaría directamente al coste y al peso. En cambio, si se subestima la carga se puede llegar a tener sobrecargas e incluso hacer que se reduzca la vida útil.
- *Velocidad (mm/s)*: con esta característica y la carga se puede calcular la potencia óptima necesaria:

$$\text{Potencia} = \text{Carga} * \text{Velocidad}$$

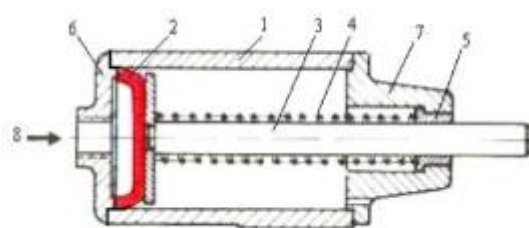
- *Longitud de retracción (mm)*: distancia del dispositivo cuando se encuentra retraído, es decir, como es el tamaño del actuador.
- *Ciclo de trabajo*: tiempo de trabajo en el que el actuador está activo.
- *Posición del motor*: el motor se puede instalar perpendicular o en línea con el eje del husillo. La configuración en línea reduce el tamaño del dispositivo, por lo que es la mejor opción cuando el espacio sea reducido.

• ACTUADOR HIDRÁULICO LINEAL

Los actuadores hidráulicos lineales utilizan un fluido hidráulico para realizar el movimiento lineal, y tienen gran aplicación donde la fuerza o el desplazamiento son elevados.

Existen varios tipos de actuadores hidráulicos: de simple efecto, de doble efecto y los telescópicos:

- *Actuador de simple efecto*: realizan trabajo en un único sentido, volviendo a su posición de origen mediante un muelle o medio externo. Su consumo de fluido es inferior a los de doble efecto, aun siendo del mismo tamaño. Tiene las siguientes partes:



1. Camisa o cuerpo del actuador
2. Émbolo o pistón
3. Vástago
4. Muelle recuperador
5. Guía del vástago
6. Culata anterior
7. Culata posterior
8. Toma del fluido

Figura 78: Actuador de simple efecto.

Debido al muelle recuperador, el actuador de simple efecto necesita de un diámetro interno mayor para poder desarrollar la misma fuerza que el de doble efecto. También por el muelle, la longitud del actuador

es más larga que la del doble efecto ya que necesita de una zona muerta para el muelle. Finalmente, de la entrada y salida del fluido se encargan las válvulas de control.

Se representa de la siguiente manera en los circuitos:

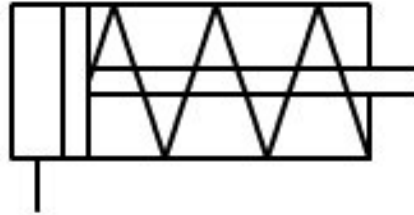


Figura 79: Representación de un actuador de simple efecto.

- *Actuador de doble efecto:* realizan trabajo tanto en el avance como en el retroceso del vástago por acción del fluido, esto se debe a que tiene dos cámaras a las que le entra fluido en distintas etapas (avance y retroceso). Tiene las siguientes partes:

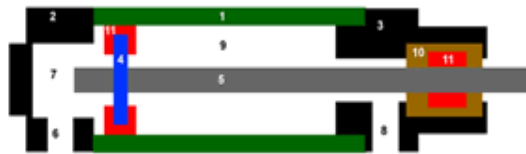


Figura 80: Actuador de doble efecto

Para este tipo de actuadores hay muchas más aplicaciones que para el de simple efecto, incluso cuando solo es necesario el trabajo en un sentido. Esto se debe a una cuestión de seguridad en el posicionamiento del pistón, ya que una de las dos cámaras siempre tendrá fluido en su interior. De la entrada de fluido en las cámaras se encargan unas válvulas de control.

Se representa de la siguiente manera en los circuitos:

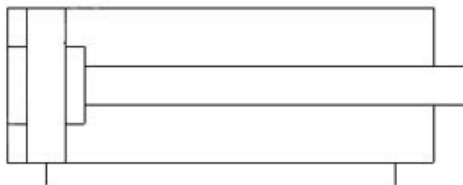


Figura 81: Representación de un actuador de doble efecto.

- *Actuador telescópico:* se diferencian en que contienen otros vástagos de menor diámetro en el interior del vástago principal y se van expandiendo por etapas, siendo de gran utilidad en las grúas. Hay que tener en cuenta en este tipo de actuadores, que la fuerza aplicada viene determinada por el vástago de menor diámetro.



Figura 82: Actuadores lineales telescópicos

- **ACTUADOR NEUMÁTICO LINEAL**

Son los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos, que generan la fuerza a través de un gas comprimido. Hay varios tipos de actuadores neumáticos, pero los más importantes son los de simple efecto y los de doble efecto, y tienen las mismas características que los actuadores hidráulicos de simple y doble efecto).

5.2 Sistema hidráulico

5.2.1 Cilindros Hidráulicos

El actuador que se va a implementar en el proyecto es un cilindro hidráulico, debido a que son más potentes que los neumáticos y los eléctricos, su construcción es más sencilla y su coste es inferior. Por estas razones, el cilindro hidráulico tiene un campo de utilidad más amplio.



Figura 83: Cilindro hidráulico

La fuerza resultante depende de la presión del aceite (fluido hidráulico) dentro de cada cámara y del tamaño del área sobre la que ejerce la presión. Por lo que, el flujo y las áreas de sección transversal determinan la rapidez con la que se mueve el pistón en el cilindro.

Hay muchos fabricantes de estos cilindros, pero los diámetros normalmente están estandarizados, quedando la carrera y la longitud total del cilindro en función de la demanda del cliente.

El cilindro hidráulico que se va a utilizar en el presente proyecto es un cilindro de doble efecto con amortiguación hidráulica.

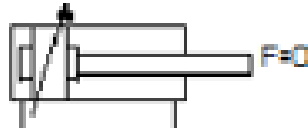


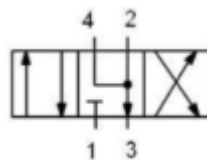
Figura 84: Símbolo Cilindro de Doble Efecto

5.2.2 Válvulas

Al desarrollarse un sistema hidráulico, las válvulas que se van a tener en cuenta son las de este mismo tipo. Las válvulas que se utilizan en este proyecto son las siguientes:

- Válvulas distribuidoras:

Estas válvulas se utilizan para el control direccional del flujo dentro de un cilindro y de esta manera mover el pistón.



4, 2- Salidas (Utilización)

1- Presión

3 – Retorno

Figura 85: Electroválvula distribuidora 4/3 en posición neutra o de escape.

- Limitadoras de presión regulable:

La función de estas válvulas en el circuito hidráulico es de seguridad, limitando la presión máxima con la que trabaja el sistema, aliviando a tanque si la presión se sobrepasa.

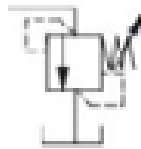


Figura 86: Válvula limitadora de presión regulable

- Válvula overcenter de doble efecto o válvula contrabalance doble

Estas válvulas controlan el movimiento y bloquean el cilindro en las dos direcciones, realizando funciones como:

- Controlar la bajada de la carga para que no sea arrastrada por su propio peso.
- Limitación de la presión máxima en caso de impacto, sobrecargas o maniobras bruscas.

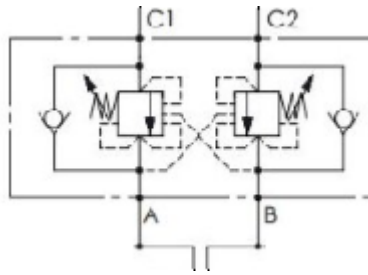


Figura 87: Válvula overcenter de doble efecto

5.2.3 Unidad de potencia hidráulica

Una unidad de potencia hidráulica impulsa caudal al circuito hidráulico, y está formada por:

- Bomba.
- Tanque.
- Válvulas limitadoras de presión.
- Manómetro
- Filtros.
- Tuberías.

Hay varios tipos de bombas disponibles en función de la solución técnica que se precise. Los tipos de bombas más comunes son:

- Bombas de engranajes.
- Bombas de pistón radial.
- Bombas de pistón axial.

Para presiones superiores a 200 bar se utilizarán las bombas de pistón radial o axial, y para presiones inferiores se utilizan las bombas de engranaje.

Cómo la presión que lleva el circuito hidráulico es de 170 bares, la bomba que se utilizará en este proyecto es de engranajes. (Anexo Cálculos hidráulicos).



Figura 88: Unidad Hidráulica de Potencia

5.2.4 Sensores

Para llevar a cabo el control del volteo de la mesa móvil son necesarios algunos sensores finales de carrera para conocer en qué momento ha finalizado el giro y así desconectar la alimentación de la electroválvula que gobiernan los cilindros hidráulicos. De la misma manera se llevará a cabo el retorno a la posición inicial, la cual llevará asociados unos sensores que actuaran de la misma manera que los de final de giro.

Por ejemplo, las mesas de volteo alternativa que se explica en el punto 2.4 del proyecto, contienen dos sensores finales de carrera que controlan la secuencia de extensión retracción de los dos cilindros. El movimiento se debe iniciar con uno de los cilindros y la presión se aplica al mismo hasta que se alcanza uno de los finales de carrera. A partir de ahí se presuriza el segundo para continuar el giro.

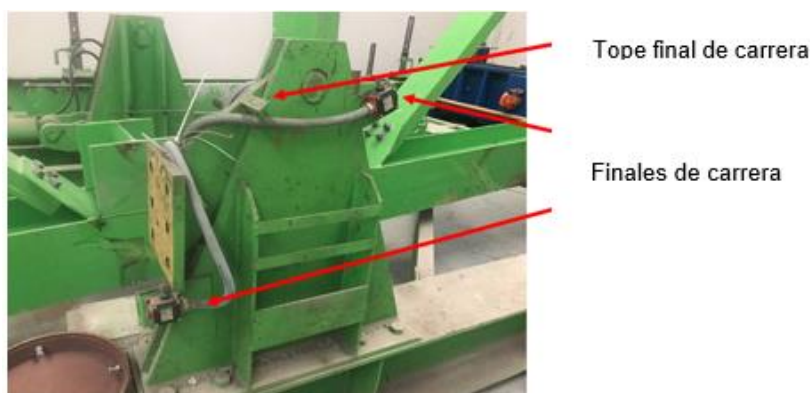


Figura 89: Sensores Solución Alternativa

5.2.5 Esquema Hidráulico

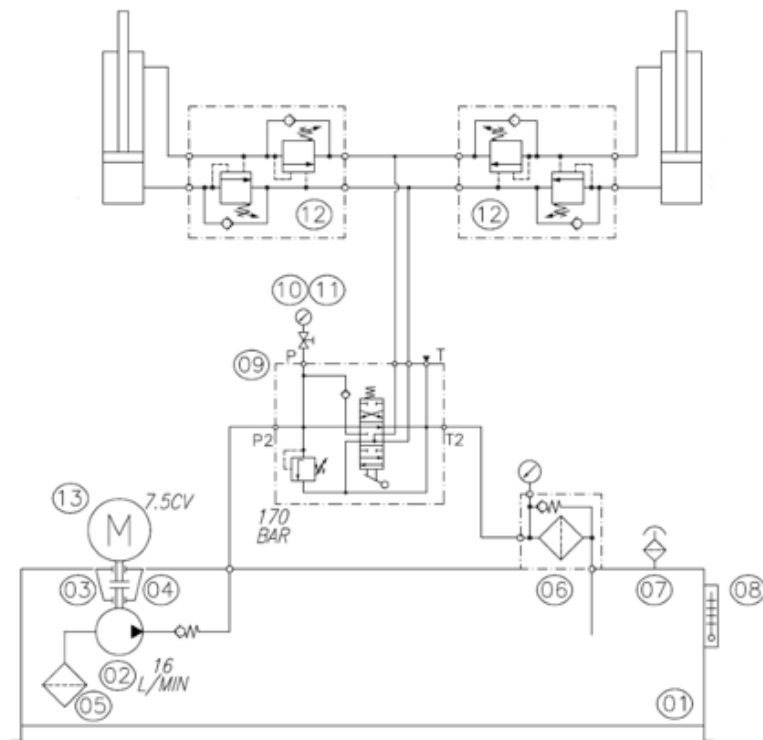


Figura 90: Esquema Hidráulico

Tabla 1: Leyenda de la Figura 91

N.º	UD	DESCRIOCIÓN	REFERENCIA
1	1	DEPÓSITO DE ACERO LT-75	DH - VA1010000107
2	1	BOMBA HIDRÁULICA DE ENGRANJES	ALP2D16
3	1	SOPORTE BOMBA MOTOR	OMT LS300
4	1	ACOPLAMIENTO BOMBA MOTOR	OMT ND86B+R82+ND86P2
5	1	FILTRO ASPIRACIÓN	SF64BB-100-GR090
6	1	TAPÓN DE LLENADO CON FILTRO DE AIRE	OMT - TR -2
7	1	NIVEL 'PTCO + TERMÓMETRO	UFI - CLA12M12NT
8	1	FILTRO DE RETORNO	OMT - F171F25NA1
9	1	DISTRIBUIDOR MANUAL 1 ELEMENTO	BLB BM40/1 GU 7 MO A1
10	1	VÁLVULA EXCLUSORA	TOGNELLA - FT-291
11	1	MANÓMETRO Ø63 0-250	AQUIAIE - D63-0250
12	2	VÁLVULA CONTRABALANCE DOBLE	SUN 2xCBCALCN
13	1	MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO 7,5 CV 230/400 B5 IE-2	MEB MA 132-S-4 IE-2

La bomba del grupo hidráulico (2) es activada por medio del motor eléctrico, generando de esta manera el caudal de aceite necesario para que actúen los cilindros, cuyas direcciones de actuación son controladas con la válvula distribuidora 4/3, que también se encarga de la coordinación de los cilindros.

Las válvulas de presión regulable actúan en caso de sobrepresión en el circuito hidráulico, es decir, son válvulas de seguridad.

Con las válvulas overcenter (una por cada cilindro) se controla la bajada de la carga en ambos sentidos para que ésta no arrastre a la botella. Se dice en ambos sentidos ya que esta botella actuará durante el volteo cuando la mesa sobrepase los 90°.

Los cilindros hidráulicos son los que se encargan en transformar la energía hidráulica en energía mecánica, y junto al mecanismo realizan el volteo.

5.2.6 Propuesta de esquema eléctrico

Los dispositivos de mando también llamados órganos de accionamiento deberían reunir las siguientes características:

- a) Ser claramente visibles e identificables, y fácilmente distinguibles unos de los otros por su separación, tamaño, forma, colores, tacto y mediante controles del etiquetado con palabras o símbolos inequívocos y fácilmente reconocibles que determinen su función o las consecuencias de su uso.
- b) Estar concebidos de tal manera que los mandos de puesta en marcha y parada estén claramente marcados.
- c) Estar colocados de tal manera que se puedan accionar en condiciones de seguridad, sin vacilación ni pérdida de tiempo y de forma inequívoca.
- d) Estar diseñados de modo que el movimiento del dispositivo de mando sea coherente con el efecto de la orden.
- e) Estar situados fuera de las zonas de peligro, excepto si lo requieren determinados dispositivos de mando, tales como los de parada de emergencia o una consola de programación
- f) Estar colocados de tal modo que su manejo no pueda provocar otros riesgos.
- g) Estar diseñados o protegidos de tal modo que el efecto deseado, cuando pueda acarrear un peligro, sólo pueda conseguirse mediante una acción deliberada.
- h) Estar contruidos para resistir todo esfuerzo previsible; se debería prestar especial atención a los dispositivos de parada de emergencia que puedan estar sometidos a esfuerzos considerables.
- i) Los mandos de parada de emergencia deberían ser de color rojo y estar colocados de tal manera que se puedan accionar con seguridad, sin vacilación ni pérdida de tiempo y de forma inequívoca.

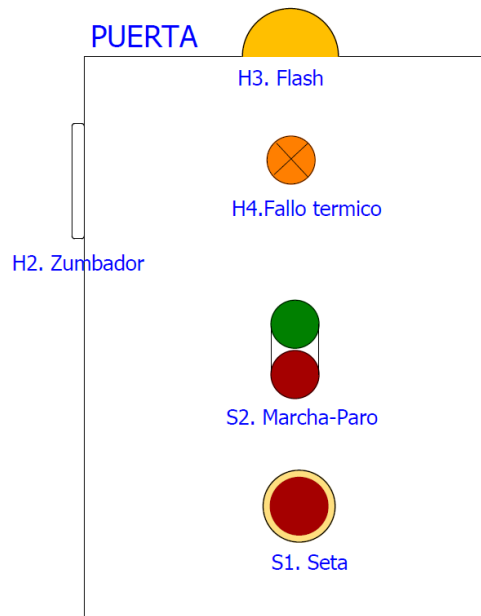


Figura 91: Cuadro eléctrico



Figura 92: Cuadro eléctrico real

6. PRODUCCIÓN DE MUROS DOBLES

6.1 Ciclo de trabajo tipo

En uno de los capítulos del Estado del arte, más concretamente, en el punto 2.1.4.1 Proceso de fabricación de muros dobles, se explicaron todas las etapas de las que consta dicho proceso. En este apartado, se va a desarrollar un ciclo de trabajo poniendo como ejemplo el proceso de producción de un solo muro doble del tamaño de la losa. Y la siguiente figura, se puede observar la posición de inicio de las mesas.

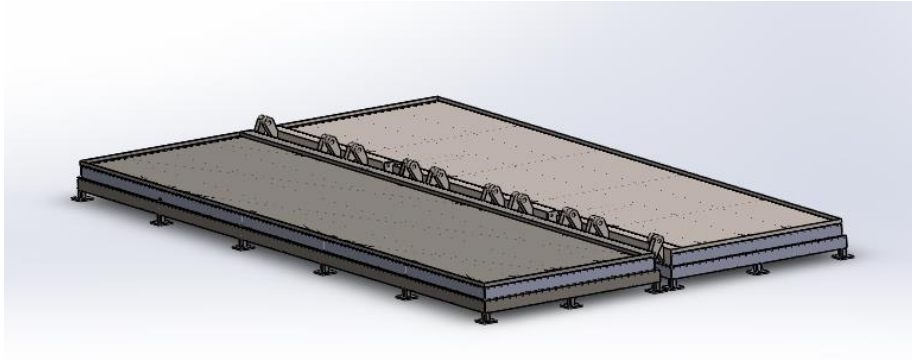


Figura 93: Posición de partida del volteo.

- Preparación de las mesas: en esta primera etapa, los operarios se encargarían de la limpieza de la losa y de la aplicación del desencofrante, y una vez que han terminado, con la ayuda de un puente grúa, colocarían las armaduras de las losas.
- Vertido del hormigón: se llevaría a cabo mediante una máquina de vertido de hormigón, y en tal proceso los operarios tienen que estar pendientes del vertido para que sea uniforme y corregir algún desperfecto que se pueda ocasionar. Y una vez vertido se realizaría la vibración de las mesas para la compactación del hormigón.
- Fraguado: etapa en que se tiene que esperar a que el hormigón endurezca.
- Colocación de armadura: los operarios, con la ayuda del puente grúa, colocarían las vigas de celosía, que van en el hueco del muro doble, encima de la losa de la mesa fija, y preverán de elementos para conectarla en la losa de la mesa móvil y de elementos de izado (entre 2 y 4, 4 en este caso ya que se trata de la losa completa) para su posterior manipulación.
- Curado: los operarios tienen que llevar a cabo este proceso para conseguir unas condiciones óptimas de humedad y temperatura, aunque como se dijo en el apartado 2.1.4.1 Proceso de fabricación de muros dobles, también se pueden incorporar bajo la superficie de las mesas unas tuberías para la conducción de agua caliente para favorecer el curado del hormigón.
- Volteo: fase principal y en la que se centra este proyecto. Una vez se ha comprobado que todo lo anterior está perfectamente ejecutado se daría marcha al proceso de volteo.
- Desmoldeo: una vez se ha realizado el volteo, y la losa de la mesa móvil está en su posición final, se desmoldea dicha losa y la de la mesa

fija, y se daría marcha para que la mesa móvil vuelva a su posición de inicio. Se conectarían las vigas de celosía a la losa de la mesa móvil, y ya estaría el muro doble preparado para poder levantarlo de las mesas con un puente grúa.

- Almacenamiento: con el puente grúa se colocarían en la zona de la fábrica habilitada para el almacenamiento, sin apoyarlos por ninguna de las caras vistas para evitar deformaciones, siempre de pie o de canto.
- Transporte: fase en la que se llevarían a la obra.
- Colocación en obra: con la ayuda de una grúa se colocarían los muros dobles directamente en la su posición dentro de la obra.
- Llenado del espacio interior: una vez se han colocado en su posición en la obra, se llevaría la última operación del muro doble, el vertido de hormigón en su espacio interior.

6.2 Accesorios necesarios

6.2.1 Separadores Magnéticos

Para producir varios muros dobles a la vez, las losas de hormigón de cada muro tienen que estar separadas, y esta separación dentro de las mesas se va a llevar a cabo mediante separadores magnéticos, los cuales permiten producir muros dobles con la altura que el cliente requiera. Con el uso de estos separadores magnéticos no es necesario el encofrado de las losas en las mesas para llevar a cabo su producción, basta con colocarlos en la posición deseada y activar los imanes que llevan incorporados. Estos componentes magnéticos tienen una fuerza de retención de 450 – 2100 kg.

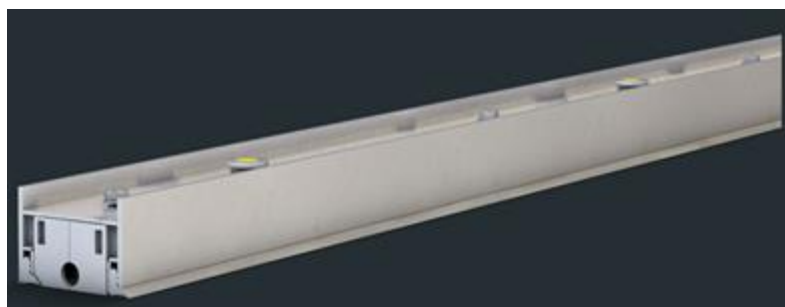


Figura 94: Separador Magnético. Empresa Ratec

Los SPBs (Standard Pro Magnetic Box) tienen poco peso y su vida útil es larga, siendo la base en la construcción de encofrados. Están formados por un perfil en U y un sistema de imán integrado con una fuerza de retención, como se ha dicho antes, entre 450 – 2100 kg, y tienen unas conexiones de tornillo para acomodar los adaptadores.



Figura 95: SPBs. Empresa Ratec

Los separadores magnéticos, que se pueden utilizar para la producción de muros dobles con las mesas que se han diseñado en este proyecto, tienen que tener un dimensionado con desahogo necesario para la medida de la losa (3m). Estos separadores necesitan unos imanes para poder fijarse a la mesa, los cuales se compran a empresas como Ratec, empresa referencia en el mercado de este tipo de imanes. Y el SPB que se utilizaría sería un SPB900 que tiene una fuerza de retención de 900kg.

6.2.2 Sistema de Vibración

El sistema de vibración es una de las partes fundamentales del proceso de fabricación de muros dobles ya que con la vibración se consigue lograr una correcta compactación del hormigón. Como ya se comentó en el primer capítulo, esto queda fuera del alcance de este proyecto, pero no se iba a dejar sin explicar ni su importancia ni algunos de los métodos a través de los cuales se lleva a cabo la vibración.

En este apartado se va a hablar de dos alternativas para llevar a cabo este proceso:

- Vibradores externos.
- Vibradores internos.

Vibradores Externos

Los vibradores externos se montan en la superficie de encofrado del hormigón y le transmiten la vibración a todo el encofrado, que en este proyecto los encofrados serían las mesas, y de ahí al hormigón, haciendo este proceso rápido y preciso.

Estos vibradores tienen una alta rentabilidad y se usan normalmente en plantas de prefabricados de hormigón, y requieren menos mantenimiento ofreciendo mejor calidad y teniendo menor consumo eléctrico que cualquier otro tipo.

Uno de los aspectos que se tiene que tener en cuenta a la hora de utilizar los vibradores externos es el espesor del hormigón a compactar y el encofrado del mismo. Existen diferentes gamas de modelos permitiendo adaptarse a cada situación, desde encofrados de madera hasta grandes encofrados de acero.

Por último, estos vibradores necesitan una fijación, la cual es sencilla de montar y montar, lo que hace posible que se pueda cambiar de lugar el sistema de vibración.



Figura 96: Vibrador externo. Fabricante: "WACKER NEUSON"

Vibradores internos: vibrador de punta de aguja

Los vibradores internos realizan la compactación del hormigón a través de un cabezal vibrador que se introduce en el hormigón fresco y así eliminar el aire de su interior.

Están compuestos por un motor, un eje flexible y un cabezal vibrador, y su gran flexibilidad y rentabilidad permiten que su configuración sea la que mejor convenga a cada necesidad.

Su mantenimiento es sencillo y de bajo coste, realizando la tarea que desarrollan en poco tiempo, tienen un rendimiento fiable y potente, y son muy duraderos.



Figura 97: Vibrador de punta de aguja. Fabricante "WACKER NEUSON"

El proceso de vibración se ha decidido realizar mediante vibradores externos, y se estima que serán necesarios unos 8 vibradores por cada mesa, estos vibradores se incorporan a las mesas junto con un pupitre de vibración, necesario para controlar la vibración.

7. PRESUPUESTO PRELIMINAR

PRESUPUESTO

Ref.	Nombre	Coste/Unidad (€/u)	Unidad	Coste/material (€/kg)	Material kg/ unidad	IMPORTE €
1	Cilindros hidráulicos	400	2	-	-	800
2	Central hidráulica	2400	1	-	-	2400
3	Latiguillo (9 m)	150	4	-	-	600
4	Cuadro eléctrico	900	1	-	-	900
5	Vallado perimetral con células fotoeléctricas	2500	1	-	-	2500
6	Vibración	400	16	-	-	6400
7	Pupitre vibración	4500	1	-	-	4500
8	Mesa Móvil (Mesa+ entramado)	-	1	3	6500	19500
9	Mesa Fija (Mesa+ entramado)	-	1	3	5115	15345
10	Soporte + bases	-	2	3	2350	14100
						67045

PRESUPUESTO MATERIAL Y MECANIZADO

Ref.	Nombre	Unidad	Material (kg)	Coste/material (€/kg)	Precio del material (€)	Fabricación €	IMPORTE €
1	Separadores	20	50	1,2	1200	2600	3800
2	Eje 0 (Ø30 x 373 mm)	2	2,15	1,2	5,16	46	51,16
3	Eje 1 (Ø40 x 373 mm)	2	3,82	1,2	9,168	52	61,168
4	Eje 2 (Ø50 x 373 mm)	2	6	1,2	14,4	60	74,4
5	Eje 3 (Ø60 x 260 mm)	10	5,88	1,2	70,56	220	290,56
6	Tope eje 0	4	0,15	1,8	1,08	24	25,08
7	Tope eje 1	4	0,18	1,8	1,296	28	29,296
8	Tope eje 2	4	0,2	1,8	1,44	28	29,44
9	Tope eje 3	20	0,25	1,8	9	160	169
							4530,104

Nota: Presupuesto ofertado por ZAME MECANIZADOS.

Por lo que el presupuesto total sería de: 71575,1 €

8. CONCLUSIONES Y VÍAS FUTURAS

8.1 Conclusiones

Una vez realizado el proyecto de prediseño de la mesa doble para la fabricación de muros dobles con el mecanismo de volteo alternativo pueden obtenerse las siguientes conclusiones:

- Se trata de un proyecto viable técnica y económicamente.
- La inversión que supondría el hacerse con toda la maquinaria es inferior a la del resto de soluciones existentes debido a que se ha reducido en la instalación hidráulica.
- La altura de las mesas cumple el objetivo de la ergonomía del operario.
- Simplicidad. La solución que se ha llevado a cabo es mediante el uso de dos cilindros hidráulicos, lo que reduce como se ha dicho, la inversión en instalación hidráulica.
- Es un proceso que puede ser mejorado y que está abierto a modificaciones futuras.
- Gracias a este proyecto se ha llegado a entender la importancia que tienen los pequeños detalles a la hora del diseño de piezas, estructuras...

8.2 Desarrollos futuros

Dando el proyecto por casi finalizado, se pasan a comentar algunas líneas de trabajo que se podrían llevar a cabo en un futuro:

- Como proyecto de prediseño que es, admite por supuesto su continuación natural mediante la realización de la ingeniería de detalle que permitiría transformarlo en un equipo viable para su fabricación.
- El mecanismo de volteo admite un estudio más en profundidad que permita la optimización de las posiciones relativas de los puntos que intervienen en él.
- A las mesas fija y de volteo se le podrían incluir unas mejoras a la hora de llevar a cabo el desmoldeo de las losas.
- Deben implementarse sistemas de retención de la losa durante el volteo en la mesa móvil.

- La distribución de los vibradores a lo largo de la mesa para conseguir un nivel de compactación del hormigón adecuado y homogéneo representa igualmente un campo con mucho trabajo por delante.
- El desarrollo de las instalaciones hidráulicas y eléctrica necesarias para que la máquina puede funcionar adecuadamente que en este trabajo simplemente se esbozan es otra área en el que se debe continuar trabajando.

9. BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA

- Creus Solé A. *Neumática e Hidráulica*, Editorial Marcombo
- <http://www.proerai.com/es/muro-doble-proerai/>
- <https://www.prefabricadosagustin.com/productos/muro-doble-prefabricado/>
- <https://www.archiexpo.es/>
- <https://www.vollert.de/es/vollert-anlagenbau-gmbh/>
- <https://tectonica.archi/materials/muro-doble/>
- <https://www.moldtechsl.es>
- <http://www.pnprecast.com>
- <https://weckenmann.com/es>
- <http://www.veserkal.com/es>
- <https://modularhome.es/prefabricados-de-hormigon/>
- <https://www.prilhofer.com/historia-de-prefabricados>
- http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03192006000400008
- <https://riesgoslaborales.saludlaboral.org/portal-preventivo/riesgos-laborales/riesgos-relacionados-con-la-seguridad-en-el-trabajo/maquinas/>
- <https://www.wackerneuson.es/es/home/>

ANEXOS**Anexo I: CÁLCULOS HIDRÁULICOS**

Datos:

- $p(\text{bar}) = 170 \text{ bar}$
- Coeficiente de rozamiento = 0,9
- Factor de carga = 70 % (por la reducida velocidad del pistón)
- Dos cilindros hidráulicos

Velocidad del pistón (mm/s)	Factor máximo de carga
8 a 100	70%
101 a 200	30%
201 a 300	10%

Peso a levantar por los dos cilindros hidráulicos:

$$P = P_{\text{LOSA}} + P_{\text{MESA}} = (3 \times 11,44 \times 0,06) \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 + 6947,76 \text{ kg} = 11325,84 \text{ kg}$$

$$Q = P \times g = 11325,84 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 111106,49 \text{ N}$$

La fuerza de salida sería:

$$111106,49 \text{ N} / 0,7 = 158723,55 \text{ N}$$

Como se tienen dos cilindros, la fuerza de salida de cada cilindro es de:

$$158723,55 \text{ N} / 2 = 79361,77 \text{ N} \rightarrow \text{Fuerza de extensión}$$

De la fórmula de la fuerza de extensión se deduce el diámetro D (diámetro del pistón):

$$F_{\text{ext}} = p(\text{bar}) \frac{\pi \times D^2}{40} \times 0,9 \rightarrow D = \sqrt{\frac{40 \times F_{\text{ext}} (\text{N})}{0,9 \times \pi \times p(\text{bar})}} = 81 \text{ mm (aprox)}$$

Debido a la disposición del mecanismo, que el cilindro no aplica la fuerza directamente en la mesa y por el pandeo que puede producirse en el cilindro, se coge un cilindro de diámetro de pistón mayor.

Se toma por lo tanto un diámetro de pistón de $D = 100 \text{ mm}$, tomando del catálogo de referencia los demás parámetros del cilindro hidráulico.

$$\text{Para } D = 100 \text{ mm} \rightarrow d = 50 \text{ mm (d = diámetro del vástago)}$$

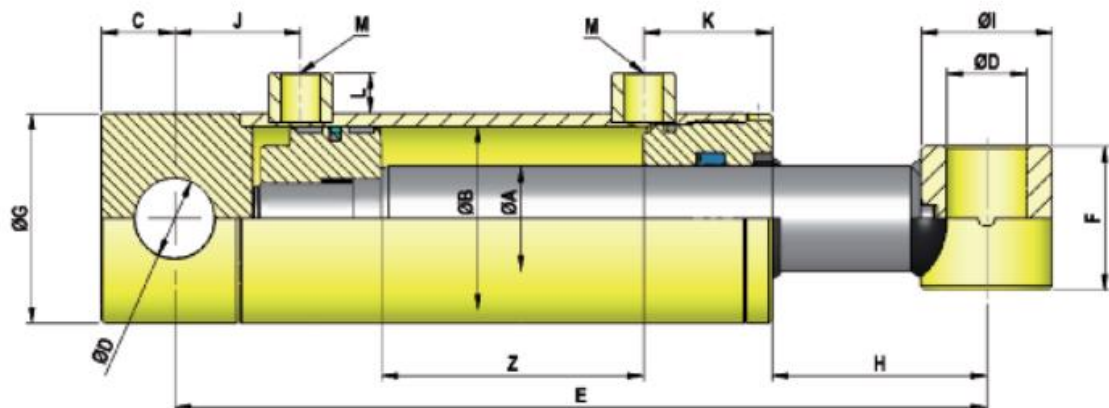
Por lo tanto, ya se puede calcular la fuerza de extensión y retracción real del cilindro:

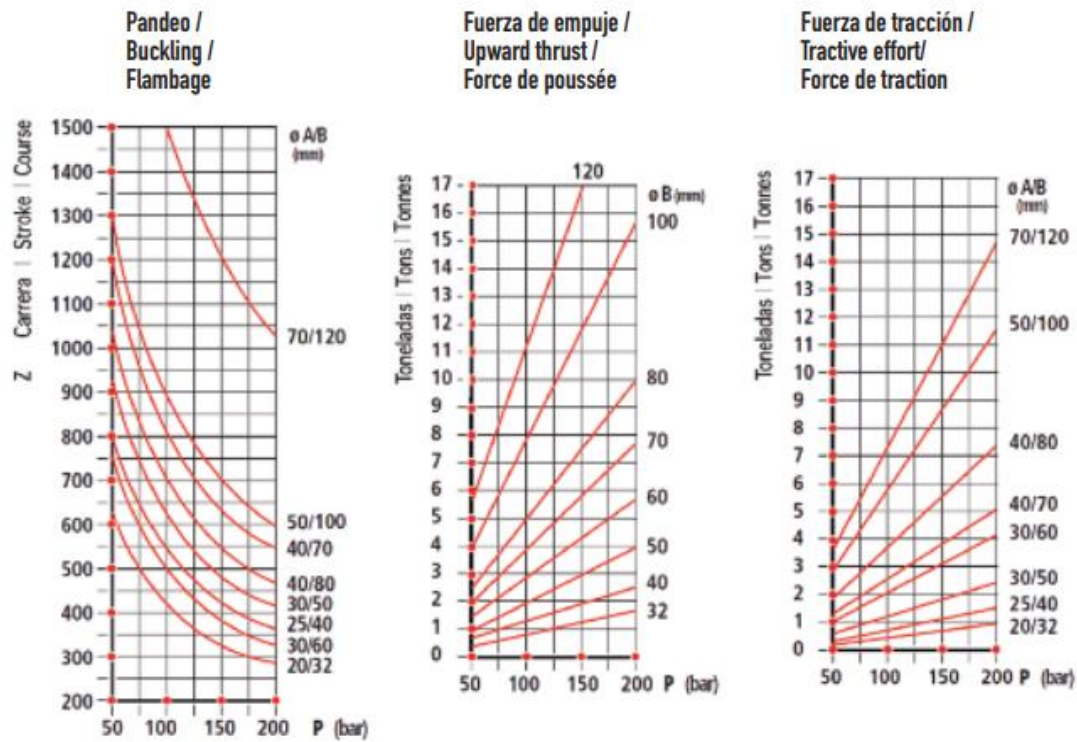
$$F_{ext} = p(bar) \times \frac{\pi \times D^2}{40} \times 0,9 = 170 \text{ bar} \times \frac{\pi \times 100^2}{40} \times 0,9 = 120165,919 \text{ N}$$

$$F_{ret} = p(bar) \times \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{40} \times 0,9 = 170 \text{ bar} \times \frac{\pi \times (100^2 - 50^2)}{40} \times 0,9 = 90124,44 \text{ N}$$

Finalmente, dentro de los cilindros de 50/ 100 de diámetro, se toma el de 700 de carrera ya que es el que dará mejores resultados en el mecanismo.

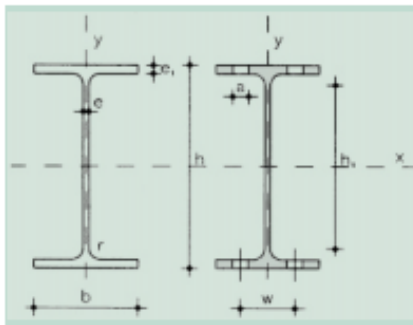
REF.	Ø A	Ø B	Z Carrera Stroke Course	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M BSP	Vol. (L)	Juntas Seals Joints	Peso (kg) Weight Poids
708/2	50	90	200	425	28	30,5	70	105	75	60	47	60	15	3/8	1,27	J5090N	19,31
708/3			300	525											1,90		22,65
708/4			400	625											2,55		25,98
708/5			500	725											3,18		29,32
708/6			600	825											3,82		32,65
708/7			700	925											4,45		35,99
706/100	50	100	100	325	28	30,5	70	115	75	60	48	60	17	1/2	0,79	J76N	18,4
706/200			200	425											1,57		21,8
706/3			300	525											2,36		25,6
706/4			400	625											3,14		28,5
706/5			500	725											3,93		31,4
706/600			600	825											4,71		35,9
706/7			700	925											5,50		37,2
706/800			800	1025											6,28		42,9
706/9			900	1125											7,07		43,0
706/1000			1000	1225											7,86		50,0
706/1100			1100	1325											8,64		53,6
706/1200			1200	1425											9,43		57,1
706/1300			1300	1525											10,21		60,6
706/1400			1400	1625											11,0		64,1
706/1500			1500	1725											11,78		67,7





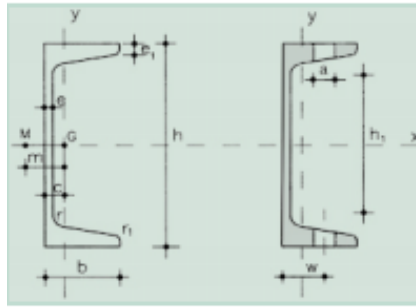
Catálogo de cilindros de doble efecto de la empresa "CICROSA SL". Recuperado de: <https://www.cicrosa.com/wp-content/uploads/catalogo-general-cicrosa.pdf>

Anexo II: PRONTUARIO DE PERFILES



A = Área de la sección	I_t = Módulo de torsión de la sección
S_x = Momento estático de media sección, respecto a X	I_y = Módulo de alabeo de la sección
I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X	u = Perímetro de la sección
$W_x = \frac{I_x}{h}$: h. Módulo resistente de la sección, respecto a X	a = Diámetro del agujero del roblón normal
$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$: Radio de giro de la sección, respecto a X	w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y	h_1 = Altura de la parte plana del alma
$W_y = \frac{I_y}{b}$: b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y	p = Peso por m
$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y	

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h	b	e	e ₁	r ₁	h ₁	u	A	S _x	I _x	W _x	i _x	I _y	W _y	i _y	I _t	I _y	w	a	e ₂	p	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁴	mm	mm	mm	kg/m	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	—	—	3,8	6,00	C
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,30	19,7	171,0	34,2	4,07	15,90	5,79	1,24	1,140	351	—	—	4,1	8,10	C
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,20	30,4	318,0	53,0	4,90	27,70	8,65	1,45	1,770	890	35	—	4,4	10,40	C
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,40	44,2	541,0	77,3	5,74	44,90	12,30	1,65	2,630	1.981	40	11	4,7	12,90	C
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,10	61,9	869,0	109,0	6,58	68,30	16,70	1,84	3,640	3.959	44	13	5,0	15,80	P
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,90	83,2	1.320,0	146,0	7,42	101,00	22,20	2,05	5,060	7.431	48	13	5,3	18,80	P
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1.940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12.990	52	13	5,6	22,40	P
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,40	143	2.770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,15	22.670	58	17	5,9	26,20	P
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,10	183	3.890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37.390	65	17	6,2	30,70	P
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1.040	45,90	242	5.790	429	11,20	420	62,2	3,02	15,40	70.580	72	21	6,6	36,10	P
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1.160	53,80	314	8.360	557	12,50	604	80,5	3,35	20,10	125.900	80	23	7,1	42,20	P
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1.250	62,60	402	11.770	713	13,70	788	98,5	3,55	26,50	199.100	85	25	7,5	49,10	P
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1.350	72,70	510	16.270	904	15,00	1.040	123,0	3,79	37,30	313.600	90	25	8,0	57,10	P
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1.470	84,50	654	23.130	1.160	16,50	1.320	146,0	3,95	48,30	490.000	95	28	8,6	66,30	P
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1.610	98,80	851	33.740	1.500	18,50	1.680	176,0	4,12	65,90	791.000	100	28	9,4	77,60	P
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1.740	116,00	1.100	48.200	1.930	20,40	2.140	214,0	4,31	91,80	1.249.000	110	28	10,2	90,70	P
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1.880	134,00	1.390	67.120	2.440	22,30	2.670	254,0	4,45	122,00	1.884.000	115	28	11,1	106,00	C
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2.010	155,00	1.760	92.080	3.070	24,30	3.390	308,0	4,66	172,00	2.846.000	120	28	12,0	122,0	C



A = Área de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X
 $W_x = 2I_x : h$: h. Módulo resistente de la sección, respecto a X
 $i_x = \sqrt{I_x : A}$: Radio de giro de la sección, respecto a X
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y
 $W_y = I_y : (b - c)$: Mínimo módulo resistente de la sección, respecto a Y
 $i_y = \sqrt{I_y : A}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y

I_t = Módulo de torsión de la sección
 c = Posición del eje Y
 m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes
 a = Diámetro del agujero del roblón normal
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
 h_1 = Altura de la parte plana del alma
 p = Peso por m
 u = Perímetro

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros		Peso		
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm²	S _x cm³	I _x cm⁴	W _x cm³	i _x cm	I _y cm⁴	W _y cm³	i _y cm	I _t cm⁴	c cm	m cm	w mm	a mm	p kp/m	
UPN 80	80	45	6,0	8,0	4,0	46	312	11,0	15,9	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,24	1,45	2,67	25	13	8,64	C
UPN 100	100	50	6,0	8,5	4,5	64	372	13,5	24,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,96	1,55	2,93	30	13	10,60	P
UPN 120	120	55	7,0	9,0	4,5	82	434	17,0	36,3	364	60,7	4,62	43,2	11,10	1,59	4,30	1,60	3,03	30	17	13,40	P
UPN 140	140	60	7,0	10,0	5,0	98	489	20,4	51,4	605	86,4	5,45	62,7	14,80	1,75	6,02	1,75	3,37	35	17	16,00	P
UPN 160	160	65	7,5	10,5	5,5	115	546	24,0	68,8	925	116,0	6,21	85,3	18,30	1,89	7,81	1,84	3,56	35	21	18,80	P
UPN 180	180	70	8,0	11,0	5,5	133	611	28,0	89,6	1350	150,0	6,95	114,0	22,40	2,02	9,98	1,92	3,75	40	21	22,00	P
UPN 200	200	75	8,5	11,5	6,0	151	661	32,2	114,0	1910	191,0	7,70	148,0	27,00	2,14	12,60	2,01	3,94	40	23	25,30	P
UPN 220	220	80	9,0	12,5	6,5	167	718	37,4	146,0	2690	245,0	8,48	197,0	33,60	2,30	17,00	2,14	4,20	45	23	29,40	P
UPN 240	240	85	9,5	13,0	6,5	184	775	42,3	179,0	3600	300,0	9,22	248,0	39,60	2,42	20,80	2,23	4,39	45	25	33,20	P
UPN 260	260	90	10,0	14,0	7,0	200	834	48,3	221,0	4820	371,0	9,99	317,0	47,70	2,56	23,70	2,36	4,66	50	25	37,90	P
UPN 280	280	95	10,0	15,0	7,5	216	890	53,3	266,0	6280	448,0	10,90	399,0	57,20	2,74	33,20	2,53	5,02	50	25	41,80	P
UPN 300	300	100	10,0	16,0	8,0	232	950	58,8	316,0	8030	535,0	11,70	495,0	67,80	2,90	40,60	2,70	5,41	55	25	46,20	P

Prontuario de perfiles UPN e IPE. Recuperado de:
http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/perfiles_ea_95.pdf

Anexo III: CINEMÁTICA

Junto a las ecuaciones de la cinemática que se encuentran en el capítulo de modelado cinemático, se realizó una hoja Excel para llevar a cabo los cálculos:

COORDENADAS DE PUNTOS DEL MECANISMO			
X0 (mm)	0	Y0 (mm)	0
X1 (mm)	-1070	Y1 (mm)	167,5
X2 (mm)	-1532	Y2 (mm)	27,5
X3 (mm)	-1290	Y3 (mm)	377,5

d1 (mm)	350
d2 (mm)	-242

COORDENADAS PUNTOS MESA MÓVIL			COORDENADAS PUNTOS MESA FIJA		
	X	Y		X	Y
	mm	mm		mm	mm
A	-1440	227,5	E	-1140	227,7
B	-4660	227,5	F	2080	227,7
C	-4660	-42,5	G	2080	-42,5
D	-1440	-42,5	H	-1140	-42,5

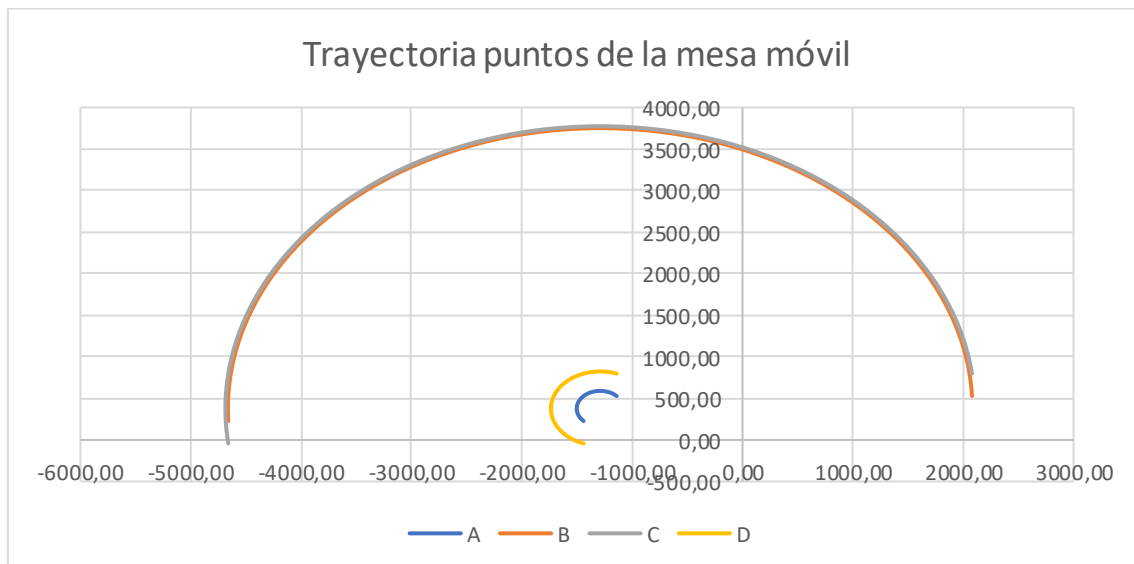
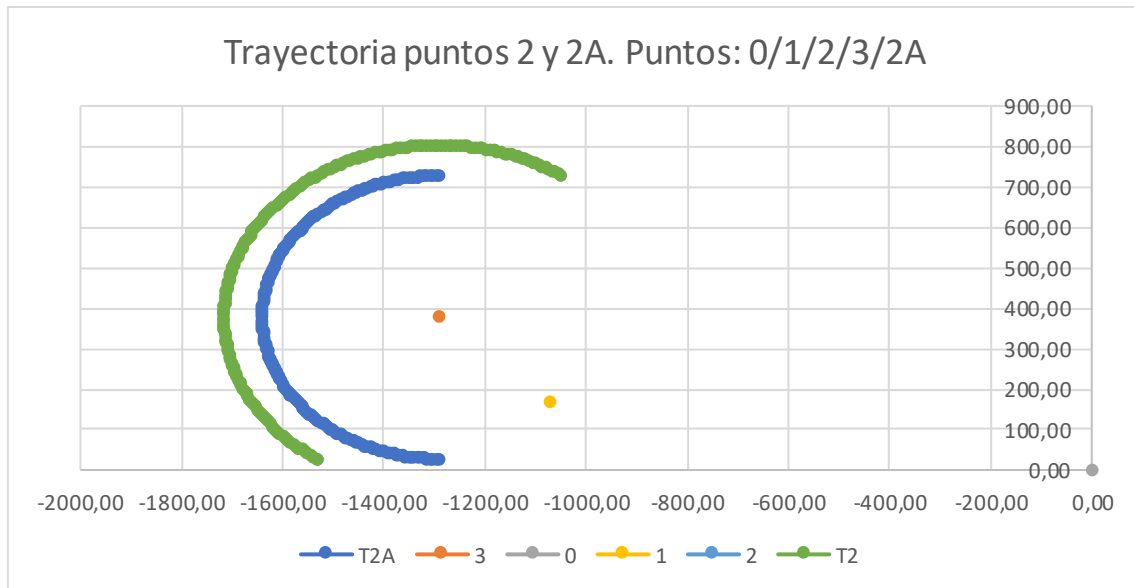
- Coordenadas de los puntos 2a y 2

ÁNGULO	X2A	Y2A	X2	Y2
°	mm	mm	mm	mm
0	-1290,00	27,50	-1532,00	27,50
45	-1537,49	130,01	-1708,61	301,13
90	-1640,00	377,50	-1640,00	619,50
135	-1537,49	624,99	-1366,37	796,11
180	-1290,00	727,50	-1048,00	727,50

- Coordenadas de los puntos de la mesa móvil

ÁNGULO	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XD	YD
°	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	-1440,00	227,50	-4660,00	227,50	-4660,00	-42,50	-1440,00	-42,50
45	-1502,13	377,50	-3779,02	2654,38	-3969,93	2463,47	-1693,05	186,58
90	-1440,00	527,50	-1440,00	3747,50	-1710,00	3747,50	-1710,00	527,50
135	-1290,00	589,63	986,88	2866,52	795,97	3057,43	-1480,92	780,55
180	-1140,00	527,50	2080,00	527,50	2080,00	797,50	-1140,00	797,50

En las siguientes gráficas se muestran las trayectorias completas de los puntos 2 y 2A, y de los puntos extremos de la mesa móvil (A, B, C y D)



PLANOS

- IMAGEN 3D: Mesas para llevar a cabo el volteo

